

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

факультет інформатики та обчислювальної техніки
(повна назва інституту/факультету)

кафедра автоматики та управління в технічних системах
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 004.942

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О.І. Ролік
(ініціали, прізвище)

“ ____ ” грудня 2020 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 126. Інформаційні системи та технології
(код і назва спеціальності)

на тему: Система керування гібридним автомобілем

Виконав студент б курсу, групи ІА-92мп
(шифр групи)

Булан Ілля Леонідович
(прізвище, ім'я, по батькові) _____
(підпис)

Науковий керівник доц.кафедри АУТС, к.т.н., доц. Репнікова Н.Б.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____
(підпис)

Рецензент каф. АСОіУ, к.т.н., доц. Жданова О.Г.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) _____
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

Інститут (факультет) Інформатики та обчислювальної техніки
(повна назва)

Освітньо-кваліфікаційний ступінь магістр
(назва ОКР)

О.І. Ролік

1. Тема дисертації Система керування гібридним автомобілем
 Науковий керівник дисертації Репнікова Н.Б., к.т.н., доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналіз предметної області, розроблення структурної та функціональної схеми системи, дослідження методів переходу до моделей цифрових та безперервних систем з комплексними коренями, синтез цифрового регулятора, маркетинговий аналіз стартап проекту.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: структурна схема гібридного автомобіля, функціональна схема керування гібридним автомобілем, , часові діаграми для різних методів переходу до векторно-матричних моделей, часові діаграми цифрової системи, схема системи для знаходження бажаних коренів характеристичного поліному, схема цифрової системи зі зворотнім зв'язком та часові характеристики, схема розрахунку ПД-регуляторів цифрової системи та часові характеристики, схема розподілення потужності між компонентами гібридної системи при номінальній швидкості автомобіля.

7. Орієнтовний перелік публікацій: Булан І.Л., Репнікова Н.Б. Узагальнення методів розроблення моделей систем керування з комплексними коренями/ Булан Ілля Леонідович. // Winter InfoCom Advanced Solutions. – 2020. – С.52–54;

8. Дата видачі завдання « 12 » вересня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строки виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання	12.09.19 р.	
2	Опрацювання літературних джерел	01.10.19 р. – 03.02.20р.	
3	Підготовка матеріалів дисертації	04.02 – 31.05.20 р.	
4	Підготовка доповідей на конференції	01.05 – 20.05.20 р.	
5	Розробка програмного продукту	03.06 – 25.10.20 р.	
6	Переддипломна практика	02.09 – 25.10.20 р.	
7	Розробка стартап-проекту	11.11 – 19.11.20 р.	
8	Подання дисертації до попереднього захисту	01.12.20 р.	
9	Оформлення дисертації	02.12- 15.12.20 р.	
10	Захист	23.12.20 р.	

Студент

(підпис)

І.Л. Булан

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Н.Б. Репнікова

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня «магістр» за освітньо-професійною програмою «Інтегровані інформаційні системи» на тему «Система керування гібридним автомобілем». Дисертація містить 102 с., 37 рис., 23 табл., 8 додатків, 20 джерел.

Магістерська дисертація тісно пов'язана з важливою проблемою підвищення енергоефективності та екологічної безпеки експлуатації транспортних засобів. Актуальність полягає у вирішенні цієї проблеми за рахунок впровадження гібридних методів, задля покращення експлуатаційних якостей силових установок транспортних засобів, які широко застосовують в сучасних гібридних автомобілях.

Розглянуті питання узагальнення методів розроблення моделей систем керування з комплексними коренями на базі математичних платформ передавальних функцій та методу простору станів. Досліджена адекватність отриманих моделей.

Метою роботи є підвищення експлуатаційних характеристик гібридної системи автомобіля.

Об'єкт дослідження: гібридний автомобіль.

Предмет дослідження: система керування гібридним автомобілем.

Методи дослідження: моделі передавальних функцій, методи переходу до векторно-матричних моделей, Z-перетворення, алгоритми розрахунку ПД-регулятора, моделювання систем за допомогою пакету MATLAB/Simulink.

Апробація результатів дисертації: Булан І.Л., Репнікова Н.Б. Узагальнення методів розроблення моделей систем керування з комплексними коренями. Булан Ілля Леонідович. // Winter InfoCom Advanced Solutions. – 2020. – С.52–56

Ключові слова: ГІБРИДНИЙ АВТОМОБІЛЬ, ЦИФРОВА СИСТЕМА, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС, КОМПЛЕКСНІ КОРЕНІ, МОДЕЛЮВАННЯ.

SUMMARY

Master's dissertation for the degree of "master" in the educational and professional program "Integrated Information Systems" on the topic "Hybrid car control system". The dissertation contains 102 pages, 37 figures, 23 tables, 8 appendices, 20 sources.

The master's dissertation is closely related to the important problem of improving energy efficiency and environmental safety of vehicles. The relevance is to solve this problem through the introduction of hybrid methods to improve the performance of vehicle hybrid systems, which are widely used in modern hybrid cars.

The questions of generalization of development methods of control systems models with complex roots on the basis of mathematical platforms of transfer functions and a method of space of states were considered. The adequacy of the obtained models is investigated.

The purpose of the dissertation is to improve the performance of the hybrid car system.

Object of research: a hybrid car.

Subject of research: hybrid car control system.

Research methods: models of transfer functions, methods of transition to vector-matrix models, Z-transforms, algorithms for calculating the PID controller, modeling of systems using the MATLAB / Simulink package.

Approbation of dissertation results: Bulan IL, Repnikova NB Generalization of methods for developing models of control systems with complex roots. Bulan Ilya Leonidovich. // Winter InfoCom Advanced Solutions. - 2020. - P.52–56

Keywords: HYBRID CAR, DIGITAL SYSTEM, TRANSITION PROCESS, COMPLEX ROOTS, SIMULATION.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	9
ВСТУП.....	10
1 АРХІТЕКТУРА ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ	12
1.1 Визначення гібридного автомобіля	12
1.2 Послідовна архітектура	14
1.3 Паралельна архітектура.....	15
1.4 Послідовно-паралельна архітектура	16
2 ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ГІБРИДНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	18
2.1 Акумуляторна батарея	18
2.1.1 Основне визначення.....	18
2.1.2 Технологія акумуляторної батареї	20
2.1.3 Модель акумуляторної батареї	22
2.1.4 Особливості високовольтної акумуляторної батареї	23
2.1.5 Управління акумуляторною батареєю в системі	25
2.1.6 Конструкція акумуляторної батареї	26
2.2 Електричний двигун.....	27
2.2.1 Принцип роботи електричних двигунів.....	29
2.3 Двигун внутрішнього згоряння.....	30
2.4 Планетарна коробка перемикання передач	33
2.5 Перетворювач-інвертор	34
2.6 Насос системи охолодження ДВС та інвертора.....	36
3 ФУНКЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІБРИДНИМ АВТОМОБІЛЕМ.....	38
3.1 Застереження щодо експлуатації гібридного автомобіля	40
3.2 Режими руху гібридного автомобіля.....	42
3.3 Розподілення енергії в гібридній системі	43
3.3.1 Стан готовності (READY-ON).....	43
3.3.2 Рушання з місця.....	45
3.3.3 Рух з номінальною швидкістю.....	46
3.3.4 Рух під час розгону при відкритій дросельній заслінці	47

3.3.5 Рух під час сповільнення.....	47
3.3.6 Рух заднім ходом.....	48
3.4 Функції основних вузлів та деталей гібридного автомобіля	49
3.5 Функції керування в системі.....	53
3.5.1 Управління гібридною системою	53
3.5.2 Контроль рівня заряду акумуляторної батареї.....	53
3.5.3 Система управління ДВС	55
3.5.4 Загальне керування MG1 і MG2	56
3.5.5 Сигнали управління інвертором.....	56
3.5.6 Управління підвищуючим перетворювачем	57
3.5.7 Керування головними реле системи	57
3.5.8 Керування системою охолодження для перетворювача-інвертора	58
3.5.9 Керування системою охолодження для ВАБ	59
3.5.10 Координоване управління рекуперативним гальмуванням.....	59
4 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІБРИДНИМ АВТОМОБІЛЬ.....	60
4.1 Перехід до векторно-матричних моделей.....	60
4.2 Розроблення та дослідження аналітичних моделей цифрових систем керування.....	65
4.3 Синтез цифрової системи зі зворотнім зв'язком за станом	68
4.4 Розрахунок коефіцієнтів ПД-регулятора.....	73
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІБРИДНИМ АВТОМОБІЛЕМ	83
5.1 Розробка структурної схеми.....	83
5.2 Розробка функціональної схеми	84
6 СТАРТАП ПРОЕКТ	85
6.1 Опис ідеї проекту	85
6.2 Опис ідеї проекту	86
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	87
6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	93

6.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	96
ВИСНОВКИ.....	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	101

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння

Micro-hybrid – мікро гібрид

FCEV - Fuel Cell Electric Vehicle

Mild-Hybrid – «М'який гібрид»

PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicles

THS – Toyota Hibryd System

EREV – Extended Range Electric Vehicle

SOC – State of charge

DOC – Depth of discharge

NiMH – Нікель-металогідридний акумулятор

Li-ion – Літій-іоний акумулятор

БТІЗ – Біполярні транзистори з ізолюваним затвором

ІСМ – Інтелектуальний силовий модуль

ЕБУ – Електронний блок управління

ВАБ – Високовольтна акумуляторна батарея

IGBT – Транзистори з ізолюваним затвором

CAN – Controller Area Network

ВСТУП

На збереження зовнішнього середовища направлені проекти, які зменшують шкідливі викиди від автомобілів, знижують витрату нафтових та газових палив, дають поштовх до розвитку гібридних автомобілів та електромобілів, використовують альтернативні екологічно чисті види палива.

Але єдиної концепції по переобладнанню базового автомобіля в гібридний з метою підвищення його енергоефективності в умовах експлуатації поки що немає. Кожен виробник сучасних автомобілів має свою думку на процес виробництва гібридних силових установок для автомобілів.

Магістерська дисертація пов'язана з важливою проблемою підвищення енергоефективності та екологічної безпеки експлуатації транспортних засобів. Вирішення цієї проблеми можливе за рахунок впровадження гібридних методів, задля покращення експлуатаційних якостей силових установок транспортних засобів, які широко застосовують в сучасних гібридних автомобілях.

Таким чином актуальність роботи пов'язана з економічними та соціальними проблемами сучасності, що обумовлено впровадженням екологічно чистих транспортних засобів і дозволяє підвищити паливну економічність автомобілів й зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Об'єкт дослідження – гібридний автомобіль.

Предмет дослідження – система керування гібридним автомобілем.

Метою роботи є підвищення експлуатаційних характеристик гібридної системи автомобіля.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- 1) розроблення структурної схеми системи керування гібридним автомобілем;
- 2) розроблення функціональної схеми системи керування гібридним автомобілем;

- 3) розроблення моделі цифрової системи керування гібридним автомобілем у пакеті MATLAB/Simulink;
- 4) дослідження методів переходу до цифрової системи з комплексними коренями та аналіз якісних характеристик системи керування гібридним автомобілем;
- 5) синтез цифрової системи зі зворотнім зв'язком за станом;
- 6) розробка ПД-регулятора;
- 7) розробка стартап-проекту.

Для вирішення задач магістерської дисертації використовувались наступні методи:

- моделі передавальних функцій;
- методи переходу до векторно-матричних моделей;
- Z-перетворення;
- алгоритми розрахунку ПД-регулятора;
- моделювання систем за допомогою пакету MATLAB/Simulink.

Апробація результатів дисертації: Булан І.Л., Репнікова Н.Б.

Узагальнення методів розроблення моделей систем керування з комплексними коренями. Булан Ілля Леонідович. // Winter InfoCom Advanced Solutions. – 2020. – С.52–56

1 АРХІТЕКТУРА ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ

1.1 Визначення гібридного автомобіля

Гібридний транспортний засіб – це за визначенням транспортний засіб з двома або більше джерелами живлення. Обидва вони можуть брати участь у русі транспортного засобу, як разом, так і самостійно. Також одна з систем повинна бути оборотною [1].

Існує кілька технологій гібридного силового агрегату, в основному, поєднують двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) з реверсивною системою, такою як технологія паливних елементів або водень наприклад. Найбільш поширеною технологією є поєднання ДВЗ з однією або кількома електричними двигунами завдяки легкому доступу до електрики через систему електромереж.

Існує кілька рівнів гібридизації, які дозволяють класифікувати транспортні засоби [1-3]:

- мікрогібрид (Micro-hybrid);
- помірний гібрид (Mild-Hybrid);
- повний гібрид (FHEV);
- гібрид, з можливістю підзарядки від електромережі (Plug-in-Hybrid);
- електричний автомобіль розширеного діапазону (EREV).

Мікрогібрид (Micro-hybrid): це стосується звичайних автомобілів із технологією «Start & Stop». Це дозволяє двигуну переставати працювати при невеликих зупинках (зупинка при виїзді з другорядної дороги або зупинка на світлофорі) і починати працювати знову досить швидко, щоб користувач цього не відчував. Ця технологія базується на стартер-генераторі, який допомагає двигуну при перезапуску. Іноді ця система забезпечує регенерацію енергії під час фаз гальмування.

Помірний гібрид (Mild-Hybrid): для автомобіля доступна електрична допомога. Це може допомогти ДВЗ з режимом надуву, доданим до системи

«Start & Stop» та рекуперативного гальмування. Honda Insight та Civic, а також Mercedes S400 є прикладами таких гібридних транспортних засобів [1].

Повний гібрид (FHEV) може працювати лише на двигуні внутрішнього згоряння (наприклад, дизель/бензин), електричному двигуні (тобто живленні від акумуляторів) або на комбінації. Toyota Prius – найпоширеніший приклад цього. Повний гібрид не підключається до підзарядки; акумулятор заряджається при запуску двигуна внутрішнього згоряння. Toyota Prius – найпоширеніший приклад цього гібриду а останнім часом і Peugeot 3008 Hybrid, Audi Q5 та BMW ActiveHybrid 5 [1].

Plug-in-Hybrid (PHEV): повністю гібридний автомобіль, який можна заряджати від зовнішнього джерела електричної енергії. Таким чином, вдосконалюється електричний діапазон, і це накладає різні стратегії для використання батареї. Перший режим, коли батарея використовується якомога більше – режим вичерпання заряду або другий, коли батарея зберігається і стан заряду зберігається майже постійним – режим підтримання заряду. Як випливає з назви, гібридний модуль (PHEV) вимагає підключення до електромережі, щоб повністю зарядити акумулятор. PHEV можна запускати і в електричному режимі без втручання ДВЗ та і в режимі звичайного авто при розрядженій батареї.

Електричний автомобіль розширеного діапазону (EREV): останній рівень перед повним електричним транспортним засобом, EREV використовує двигун внутрішнього згоряння як джерело енергії, іншими словами, для зарядки акумулятора, але не бере безпосередньої участі в тязі транспортного засобу. Призначення цих транспортних засобів полягає у використанні малого двигуна внутрішнього згоряння у найкращій робочій точці, щоб забезпечити найкращу ефективність двигуна.

Як випливає з назви, гібридний модуль (PHEV) вимагає підключення до електромережі, щоб повністю зарядити акумулятор. PHEV можна запускати і в електричному режимі без втручання ДВЗ та і в режимі звичайного авто при розрядженій батареї.

Від Mild-Hybrid до EREV, стратегія управління електричною частиною дуже важлива для того, щоб зменшити споживання палива та покращити глобальну ефективність автомобіля. Можна вибрати кілька режимів роботи щодо ситуації водіння, наприклад, з повними фазами електричного водіння. На рівень гібридизації автомобіля також впливає спосіб просторової збірки різних компонентів. Дійсно, зв'язок між двома енергетичними системами може бути здійснений різними способами. Рішення зв'язку, пов'язане з конкретним просторовим розташуванням компонентів, визначає архітектуру.

1.2 Послідовна архітектура

У цьому типі архітектури механічний зв'язок з колесами повністю виконаний з електричним двигуном (ЕД). Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) пов'язаний з другим електричним двигуном, який працює як генератор і перетворює механічну енергію в електричну енергію. Ця енергія або надходить до першої електричного двигуна, що рухає транспортний засіб, або допомагає заряджати акумулятор. Схема послідовної архітектури представлено на рисунку 1.1.

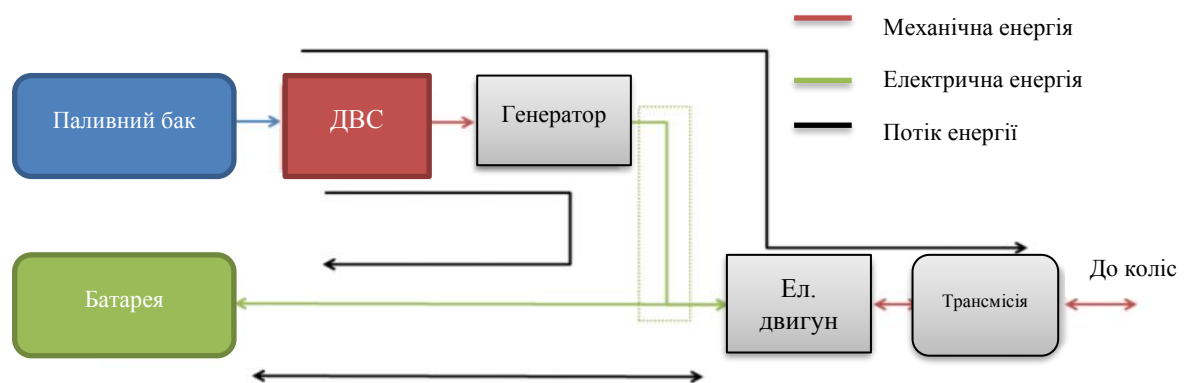


Рисунок 1.1 – Схема послідовної архітектури

Однією з переваг цієї архітектури є те, що вона дає можливість визначати – контролювати режим роботи двигуна внутрішнього згоряння, щоб він міг

працювати в області оптимальної ефективності. Однак два електричні двигуни збільшують ціну та вагу цієї архітектури а також зайнятий обсяг. Крім того, глобальна ефективність архітектури знижується через багато перетворень енергії між двигуном внутрішнього згоряння та колесами. Дійсно, перетворення енергії від механічної до електричної, а потім назад до механічної зменшує ефективність загальної системи, а отже, і інтерес цієї архітектури.

Архітектура цікава під час роботи в містах, завдяки можливостям електричної системи працювати на невисоких швидкостях та частими зупинками, максимально використати потенціал гібридного авто, але не дуже підходить для використання на шосе з високими вимогами до потужності. Chevrolet Volt та Opel Ampera - приклади транспортних засобів з гібридною послідовною архітектурою.

1.3 Паралельна архітектура

У паралельній архітектурі дві системи механічно з'єднані з колесами і обидві можуть рухати транспортний засіб або разом, або окремо. На рисунку 1.2 показано схему паралельної архітектури. Як видно потрібен лише один електричний двигун, що представляє перевагу щодо обсягу, ваги та ціни.

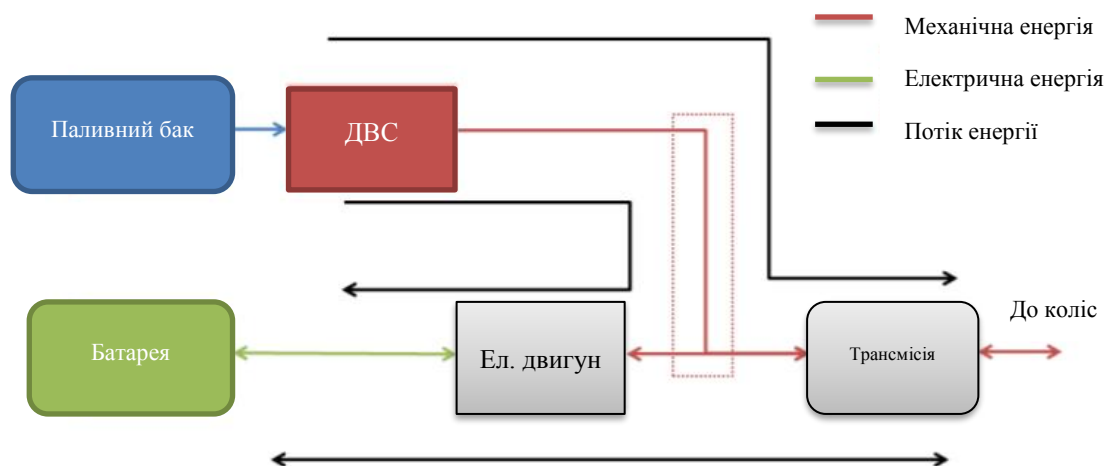


Рисунок 1.2 – Схема паралельної архітектури

Тут силова муфта є більш складною, ніж для послідовної архітектури. Існує два типи механічних систем зчеплення: швидкісні та муфтові з крутним моментом :

- швидкісне зчеплення може бути можливим завдяки планетарному набору передач;

- муфта крутного моменту є найпоширенішою системою зчеплення, яка використовується в цій архітектурі (Honda Insight, Peugeot 3008 Hybrid, Porsche Panamera S-E Hybrid).

Можна виділити три основні методи зчеплення: зчеплення перед передачею, зчеплення після передачі та зчеплення через дорогу. Муфта перед передачею полягає у використанні тягового електричного двигуна перед системою передач (шестерня коробки передач, наприклад, варіатор), або ремінним шківом (тип Start & Stop низької потужності), або наприклад, зірочки. Постмуфта можлива завдяки інтеграції електричного двигуна після передачі. Нарешті, зчеплення через дорогу полягає в з'єднання двох енергетичних систем на різних осях коліс, наприклад, використовуваних Peugeot 3008.

Переваги паралельної архітектури впливають з того, що ця архітектура дуже близька до звичайного транспортного засобу. Приріст в обсязі, вазі та ціні значний. Однак двигун внутрішнього згоряння безпосередньо пов'язаний з колесами, що робить його більше звичним для управління з метою орієнтації на його оптимальну робочу область. Цей тип архітектури в основному використовується в малогібридизованих транспортних засобах (мікро- або м'якогібридних) як електричний прискорювач для допомоги двигуну внутрішнього згоряння.

1.4 Послідовно-паралельна архітектура

Послідовно-паралельна архітектура – це складна архітектура, що поєднує паралельну та послідовну. Дійсно, використовуються дві системи силових муфт.

Цей метод дає доступ до кращого контролю над двигуном та акумулятором, поєднуючи переваги кожної архітектури. Схему послідовно-паралельної архітектури представлено на рисунку 1.3.

Незважаючи на те, що дві архітектури використовують усі переваги, деякі недоліки залишаються. Ця система з двома електричними двигунами та двома муфтами є великою за обсягом і важкою. Це також складніше для управління, ніж попередні архітектури, але дає кращий контроль роботи двигуна. Перше покоління Toyota Prius використовує цю архітектуру з гібридною системою Toyota (THS) нещодавно замінено Гібридним приводом синергії (HSD).

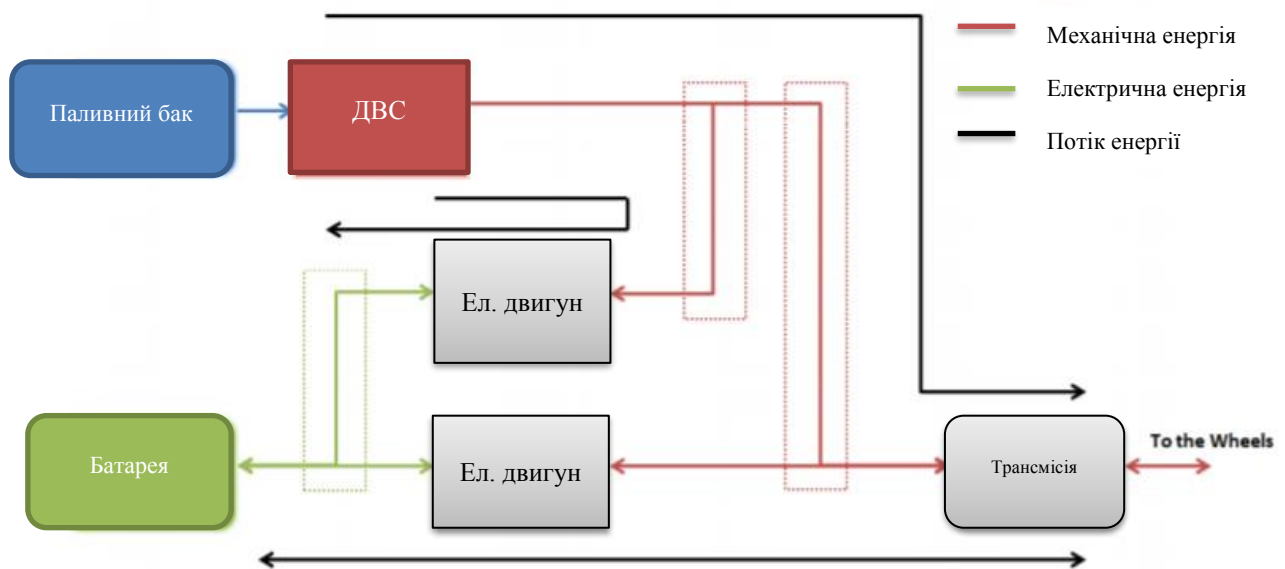


Рисунок 1.3 – Схема послідовно-паралельної архітектури

Незважаючи на те, що дві архітектури використовують усі переваги, деякі недоліки залишаються. Ця система з двома електричними двигунами та двома муфтами є великою за обсягом і важкою. Це також складніше для управління, ніж попередні архітектури, але дає кращий контроль роботи двигуна. Перше покоління Toyota Prius використовує цю архітектуру з гібридною системою Toyota (THS) нещодавно замінено Гібридним приводом синергії (HSD)

2 ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ГІБРИДНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Як було показано раніше, гібридна силова установка складається з декількох основних компонентів, такі як акумулятор, один або два електричні двигуни, двигун внутрішнього згоряння та система перемикання передач. Також, залежно від використовуваної архітектури, перемикання передач може дещо відрізнятися. У цій частині, описуються основні компоненти, що утворюють гібридну силову установку, даючи знання про технології, що використовуються виробниками автомобілів.

2.1 Акумуляторна батарея

2.1.1 Основне визначення

Однією з найважливіших складових частин гібридного силового агрегату є акумулятор, оскільки він є найбільш обмеженим. Його складне обмеження робить його однією з найбільш досліджуваних технологій, як основні інвестиції здійснюються в США, Японії, Китаї та Європі. Розглядаються технології батарейок: нікель-металеві батареї та літій-іонні батареї. Очевидно, що існує багато інших типів акумуляторів, але ці дві технології представляють у всьому світі ринок силових акумуляторів в автомобільному секторі.

Завдання акумулятора – зберігати достатню кількість енергії для забезпечення дальності руху на електроенергії, а також здатність подавати високу потужність протягом коротких періодів. Характеристики прискорення безпосередньо залежать від того, як батарея справляється з цими короткими великими зарядами.

Вага та об'єм акумулятора – також ключові параметри. Його потужності енергії поглинання та розсіювання мають великий вплив на його використання для підтримки швидкої зарядки або фази скидання, які можуть відбутися. Іншим важливим питанням, яке слід згадати, є старіння властивості акумулятора,

оскільки автомобіль, як правило, призначений для експлуатації протягом декількох років або навіть кількох десятиліть.

Те, що в повсякденному житті називають батареєю, насправді слід називати акумулятором. Акумуляторна батарея складається з декількох модулів, а модуль являє собою збірку комірок. Кількість елементів та організація в модулі визначають основні характеристики акумуляторної батареї. Кілька комірок можна розмістити послідовно та/або паралельно, щоб сформувати модуль. Більш високу напругу можна отримати при використанні комірок у послідовних гілках, тоді як паралельні гілки спрямовані на збільшення вихідного струму.

Цей вибір організації чи архітектури модуля є основною відмінністю між акумуляторами високої потужності та батареями високої енергії. Батареї високої потужності здатні приймати високу потужність під час фаз зарядки та розрядки, що може бути під час високої прискорення або уповільнення (важлива фаза гальмування). Високоенергетичні батареї, як правило, оптимізують накопичення енергії, щоб збільшити дальність поїздки на автомобілі.

Акумуляторна батарея може характеризуватися кількома факторами [4], найважливішими з них є:

- стан заряду (SOC) акумулятора (зазвичай виражається у відсотках, SOC дає рівень енергії, що залишився в батареї, порівняно з її максимальною ємністю накопичення енергії);
- глибина розряду (DOD) акумулятора (відображає, наскільки близька до розряду батарея);
- життєвий цикл, який відповідає кількості циклів зарядки-розрядки, який батарея може витримати в певному режимі експлуатації, перш ніж не зможе досягти цілей продуктивності;
- календарний термін.

Діаграма Рагона [14] показана на рисунку 2.1, яка дозволяє порівняти різні системи накопичення енергії, беручи до уваги питому енергію та потужність.

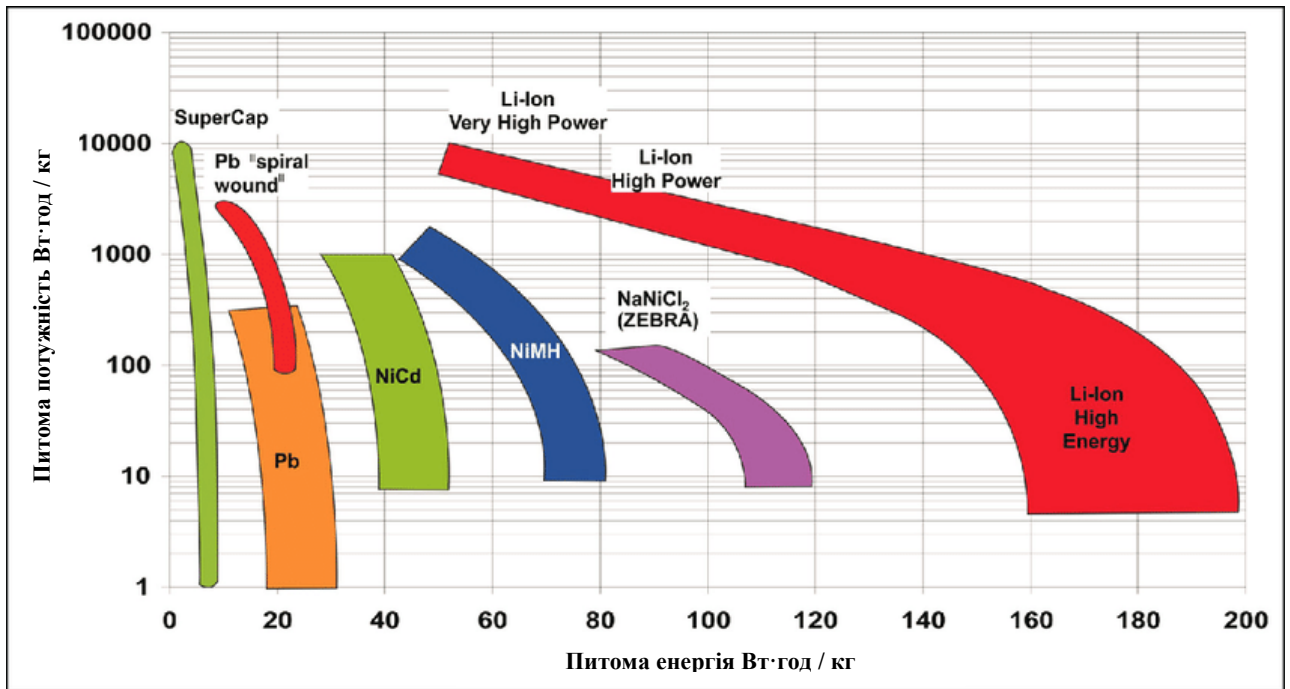


Рисунок 2.1 – Діаграма Рагона

Діаграма Рагона – це графік, який використовується для порівняння щільності енергії різних накопичувачів енергії. На такій діаграмі наведені значення питомої енергії (у Вт·год / кг) проти питомої потужності (у Вт / кг). Обидві осі є логарифмічними, що дозволяє порівнювати характеристики різних пристроїв. Графіки Рагоне можуть розкривати інформацію про гравіметричну щільність енергії, але не передають подробиць про об'ємну щільність енергії. Як видно з діаграма Рагоне, вона чітко вказує на високу ефективність літій-іонної технології порівняно з іншими.

2.1.2 Технологія акумуляторної батареї

Елемент акумулятора складається з двох різнорідних електродів, відокремлених один від одного електролітом. Електроліт – це іонний провідник та електронний ізолятор. Один електрод називають анодом, а інший – катодом. Під час зарядки на аноді відбувається відновлення (приріст електронів), а окислення (втрата електронів) відбувається на катоді. Позитивно заряджені іони

називаються «катіонами», а негативні – «аніонами». Електроліт є іонним провідником і забезпечує передачу іонів.

Технологія нікель-метал (NiMH) забезпечила перше покоління гібридних автомобілів. Тоді цей тип акумуляторів був добре відомий з точки зору старіння та безпеки. Toyota завжди використовувала цю технологію у своїх моделях. Діаграма Рагона на рисунку 2.1. вказує, що це рішення є одним з найцікавіших. Однією з його переваг є те, що акумулятори NiMH вимагають простої системи охолодження повітря, що представляє перевагу щодо ваги, обсягу та вартості. Однак обмеження щодо питомої енергії забезпечують використання цих батарей у високогібридизованих транспортних засобах, таких як PHEV та EREV [1]. Нещодавно BASF (Badische Anilin- & SodaFabrik), світовий лідер у хімічній промисловості, доклав нових зусиль для розвитку. BASF стверджує, що ємність акумуляторів NiMH можна помножити на вісім. Завдяки своїй конкурентоспроможній ціні порівняно з іншими батареями, цей прорив може повністю змінити поточну тенденцію на ринку акумуляторів [13].

Літій-іонні батареї (Li-ion) відносяться до великої групи батарей. Іони можуть надходити з різних матеріалів з різними властивостями. Це спричиняє різницю в результуючому графіку батареї, ціні та потужності [3]. Хоча літій-іонні акумулятори дорожчі, ніж NiMH, вони в основному використовуються виробниками автомобілів у своїх останніх моделях, таких як Tesla, Chevrolet та Nissan [1]. Літій – це сильно відновлювальний метал з помірною масою. Тоді його потенціал цікавий, оскільки дає доступ до високої питомої енергії. Однак літій-іонні акумулятори страждають від короткого терміну життя. Щоб протидіяти цьому ефекту, батареї потрібно збільшувати. Крім того, з міркувань безпеки вхідна потужність обмежена для запобігання утворенню дендриту [13]. Це явище літію, що накопичується між катодом і анодом, що створює зменшення робочих характеристик, короткі замикання, перегрів або термічний збій, який може навіть спричинити вибухи.

Система охолодження є більш складною, ніж та, яка потрібна для NiMH акумуляторів. Система рідинного охолодження дійсно потрібна, щоб уникнути перегріву батарей, і перш за все для безпеки використання [1]. Така система охолодження додає ваги та складності порівняно з технологією NiMH.

Інші рішення існують і тут не описуються. Наприклад, суперконденсатори все частіше використовуються для їх здатності швидко зберігати і віддавати енергію. У цьому сенсі суперконденсатори представляють собою життєздатну додаткову систему зберігання для високих потреб у потужності (Наприклад, Система «Start&Stop»).

2.1.3 Модель акумуляторної батареї

Розробка реалістичної моделі батареї є досить складною через її динамічну поведінку та численні взаємодії, що відбуваються в ній. Електрохімічні реакції, взаємний опір, стан заряду, температура, струм заряду та розряду або історія використання – все це параметри, що впливають на поведінку акумулятора [5].

Існують різні типи моделей: електрохімічні моделі, моделі електричних еквівалентних схем і, наприклад, моделі чорних ящиків. Електрохімічні моделі представляють хімічні ефекти та реакції в батареї. Моделі електричних еквівалентних схем – це основні електричні схеми, що складаються з резисторів та конденсаторів, які спрямовані на відтворення поведінки акумулятора.

Існує кілька моделей для різного рівня точності моделі. Еквівалентні схеми моделей в основному використовуються, оскільки вони створюють цікавий компроміс між точністю, складністю та часом обчислення. Очевидно, що проста модель не враховуватиме всіх раніше введених параметрів. Параметри, що враховуються, повинні бути визначені перед вибором та реалізацією моделі. У \ проекті представлено лише вплив SOC та режим роботи акумулятора (зарядка чи розрядка). Перш ніж представляти кілька прикладів моделей акумуляторів, є важливим надати додаткові знання про стан заряду (SOC).

Стан заряду визначається як відношення залишкової кількості електроенергії за певний час t у батареї ($Q(t)$) та номінальної ємності акумулятора (Q_0 в Ah). Q_0 являє собою загальну кількість енергії, яка може розряджатися від акумулятора при повній зарядці. Рівняння (2.1) показує визначення стану заряду у відсотках. SOC, як очікується, буде надана програмою, оскільки це інформація, що передається водієві.

$$SOC(t) = \frac{Q(t_0) - Q(t)}{Q_0} \cdot 100 \quad (2.1)$$

Нарешті, SOC, виражена у відсотках, визначається рівнянням (2.2) як функція від поточного струму акумулятора i_{batt} (A).

$$SOC(t) = SOC(t_0) - \frac{100}{3600} \int_{t_0}^t \frac{i_{batt}(t)}{Q_0} dt \quad (2.2)$$

Оцінка стану заряду є більш складною, але має важливе значення для стратегії використання акумулятора. Це дозволяє зберегти рівень заряду акумулятора безпечним для користувача, а також оптимізувати його використання. Традиційно батарею використовують в діапазоні 10% - 90% від SOC. При більшому 90% і менше 10% заряді батареї можуть відбуватися небажані хімічні реакції, що може спричинити довгострокові пошкодження акумулятора. Крім того, основні коливання напруги акумулятора бувають нижче 10% і більше 90%.

2.1.4 Особливості високовольтної акумуляторної батареї

Так як високовольтна акумуляторна батарея виділяє тепло під час періодично повторюваних циклів зарядки і розрядки, для забезпечення її нормальної роботи застосовується спеціальна система охолодження. Для

підвищення ефективності охолодження забір повітря проводиться через спеціальні повітряні забірники, які в основному розташовані під сидінням автомобіля. В окантовці повітряного забірника охолоджуючого повітря передбачений повітряний фільтр.

Під боком заднього сидіння є повітрозабірник, що забезпечує охолодження акумуляторної батареї гібридної системи. Якщо вентиляція блокується, то гібридна батарея може перегрітися, що призведе до зниження ефективності гібридного автомобіля, і може призвести до пошкоджень. Для запобігання перегріву акумуляторної батареї гібридної системи слід регулярно очищати повітрозабірник.

Не допускається попадання в повітрозабірник води і сторонніх матеріалів, оскільки це може викликати коротке замикання і пошкодження акумуляторної батареї гібридної системи. Не допускається перевозити в автомобілі великі обсяги води, наприклад, бутлі для охолоджувача води. Якщо вода проллється на акумуляторну батарею гібридної системи батарея може бути пошкоджена.

При знятті затиску сервісного розмикача ланцюга, перед виконанням будь-яких перевірок і обслуговування, високовольтний ланцюг буде розірвано, забезпечуючи безпеку під час технічного обслуговування.

Після відключення ланцюгів високої напруги високовольтний конденсатор в перетворювачі-інверторі залишається зарядженим. Після зняття затиску сервісного розмикача ланцюга при обслуговуванні автомобіля з гібридним приводом необхідно почекати не менше 10 хвилин, щоб конденсатор розрядився до початку робіт.

Затиск сервісного розмикача ланцюга ні в якому разі не повинен зніматися, коли система знаходиться в стані готовності READY.

Включення живлення (READY) при зняттю сервісному розмикачі ланцюга може стати причиною несправності. Затиск сервісного розмикача ланцюга включений в розрив ланцюга модуля акумуляторної батареї і

дозволяє вручну відключити ланцюг високої напруги. Цей захід гарантує безпеку обслуговування.

Затиск сервісного розмикача ланцюга забезпечений вимикачем блокування. Коли затиск розблоковано, вимикач блокування вимкнений, і ЕБУ гібридної системи вимикає головні реле системи. Однак з міркувань безпеки необхідно вимикати живлення перед тим, як знімати затиск сервісного розмикача ланцюга.

2.1.5 Управління акумуляторною батареєю в системі

Ступінь заряду (SOC)

ЕБУ гібридної системи визначає ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї (SOC) за загальним струмом зарядки і розрядки. Для постійної підтримки ступеня заряду на належному рівні ЕБУ гібридної системи оптимально управляє гібридною системою. На рисунку 2.2 показано графік керування ступенем заряду акумуляторної батареї у часі.

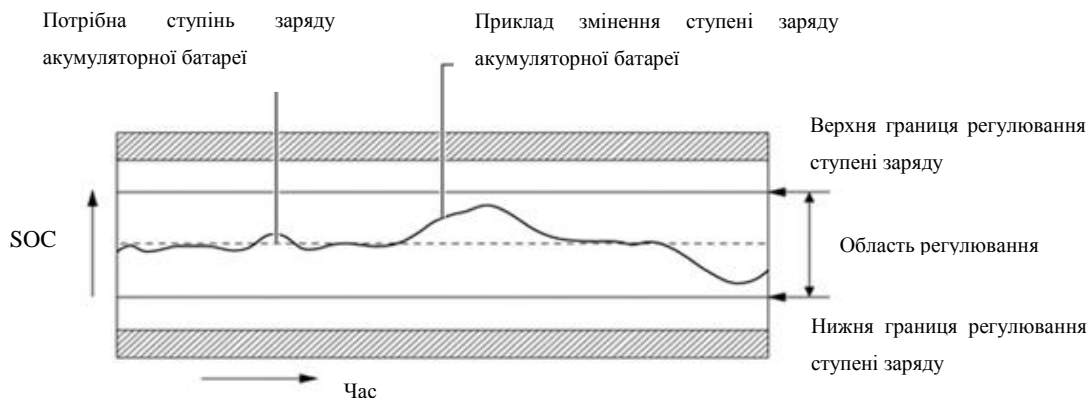


Рисунок 2.2 – Графік керування ступенем заряду акумуляторної батареї

Реєстрація зниження опору ізоляції

У блокові контролю стану акумуляторної батареї (датчик напруги акумуляторної батареї) вбудована схема виявлення витоку. Схема виявлення витоку безперервно контролює опір ізоляції між ланцюгами високої напруги і

масою. На підставі даних від блоку контролю стану акумуляторної батареї (датчика напруги акумуляторної батареї) ЕБУ гібридної системи визначає зниження опору ізоляції.

Схема виявлення витоку електроенергії при зниженні опору ізоляції показана на рисунку 2.3 та містить джерело змінного струму і пропускає через ланцюг високої напруги невеликий змінний струм (позитивний і негативний). Чим нижче опір ізоляції, тим більша напруга надходить на резистор реєстрації, і тим менше хвилі змінного струму. Опір ізоляції визначається за амплітудою хвиль змінного струму.

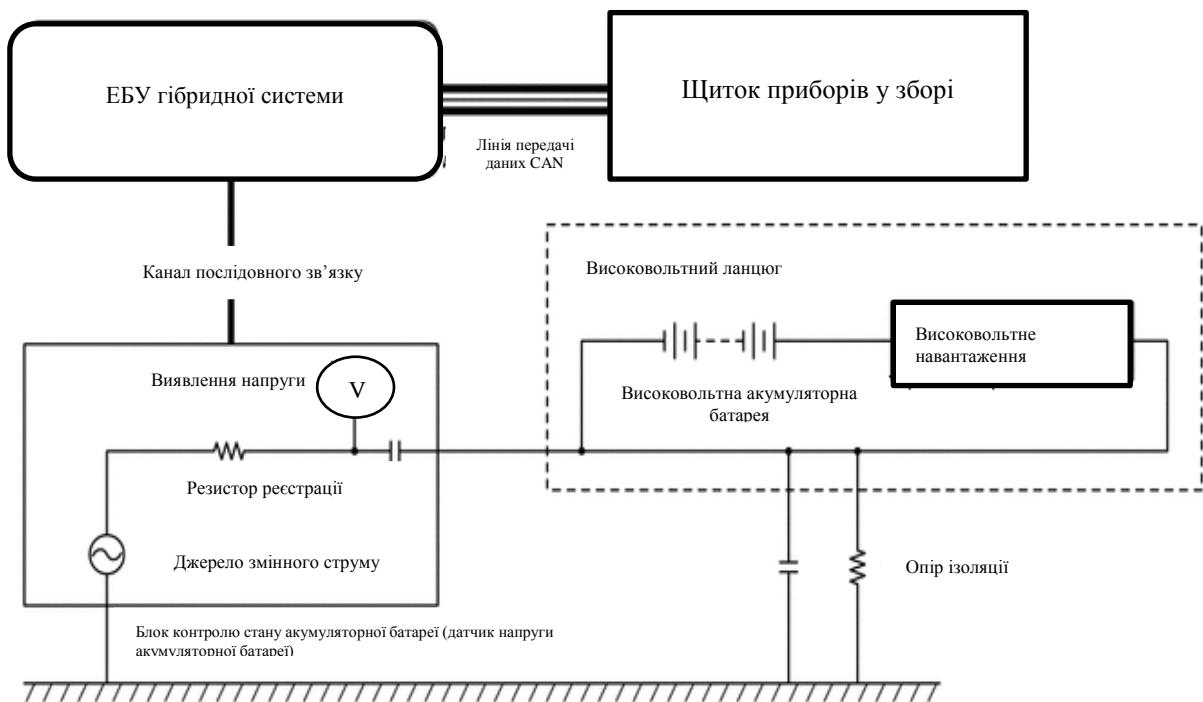


Рисунок 2.3 – Схема виявлення витоку електроенергії при зниженні опору ізоляції

2.1.6 Конструкція акумуляторної батареї

Високовольтна акумуляторна батарея складається переважно з модулів високовольтної акумуляторної батареї, термістору високовольтної

аккумуляторної батареї, розподільного блоку гібридної аккумуляторної батареї, вентилятору охолодження аккумуляторної батареї в зборі, блоку контролю стану аккумуляторної батареї (датчик напруги аккумуляторної батареї) і затиску сервісного розмикача ланцюга.

У високовольтної аккумуляторної батареї використовуються елементи в пластмасових контейнерах. В результаті досягнуті високі показники питомої потужності, маси і терміну служби.

Щоб забезпечити належне охолодження аккумуляторної батареї, що виділяє значну кількість тепла під час багаторазових циклів зарядки / розрядки, використовується спеціальна система охолодження з вентилятором.

Високовольтна аккумуляторна батарея складається з деякої окремих модулів. Вони з'єднані послідовно за допомогою 2 модулів шин.

Термістор високовольтної аккумуляторної батареї включає 3 датчика температури високовольтної аккумуляторної батареї і датчика температури впускного повітря високовольтної аккумуляторної батареї.

ЕБУ гібридної системи здійснює оптимальне управління системою охолодження, підтримуючи температуру високовольтної аккумуляторної батареї в заданому діапазоні відповідно до даних про температуру, одержуваними через блок контролю стану аккумуляторної батареї (датчик напруги аккумуляторної батареї).

2.2 Електричний двигун

Існує кілька типів електричних двигунів, які можна виділити за типом аліментації та їх швидкісні характеристики обертання [7]. У звіті опишемо три типи електричних машин:

- двигуни постійного струму;
- двигуни змінного струму: синхронні машини альтернативного струму;
- індукційні двигуни: асинхронні машини альтернативного струму.

Загальна характеристика електричного двигуна представлена на рисунку 2.4.

Існують два режими роботи електричного двигуна:

- при постійному крутному моменті: протирушійна сила збільшується лінійно з швидкістю обертання, поки вона не досягне певної межі, така ж поведінка спостерігається і для максимальної потужності також і зазвичай ця межа встановлюється електронною системою постачання і його максимальною напругою;
- при постійній потужності протирушійна зусилля підтримується до максимального значення на зменшення магнітного поля збудження в машині, такий процес називається послабленням поля.

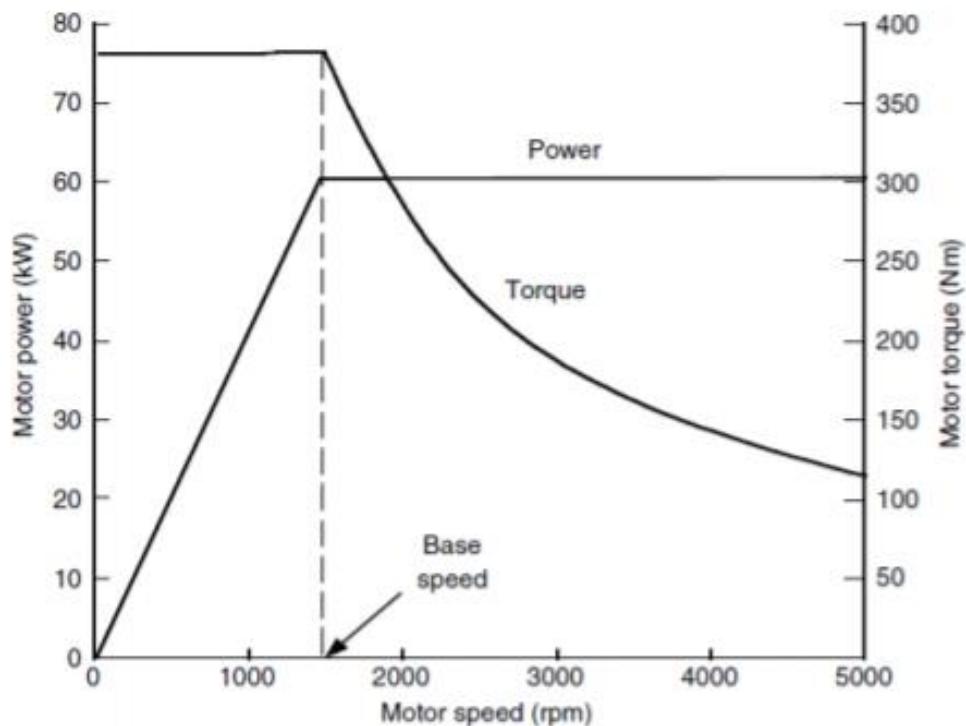


Рисунок 2.4 – Характеристики електричного двигуна

Швидкість обертання, що встановлює межу між постійним крутним моментом і постійною зоною потужності називається базовою швидкістю або номінальною швидкістю. Вона змінюється в залежності від введенного струму,

так що коли струм зростає (як і крутний момент), основна швидкість зменшується.

2.2.1 Принцип роботи електричних двигунів

2.2.1.1 Двигун постійного струму

Двигуни постійного струму використовувались у перших гібридних моделях у 1900-х роках [6]. Ті машини виграли завдяки простому керуванню та відповідали вимогам того часу.

Двигуни постійного струму пристосовані до дуже низьких швидкостей та низької напруги. Контроль крутного моменту може бути точним. Його джерело живлення дуже просте.

Однак у сучасному застосуванні двигуни постійного струму, здається, обмежені з точки зору продуктивності, що зменшує їх використання в транспортних засобах.

2.2.1.2 Синхронні двигуни або двигуни змінного струму

В синхронних двигунах швидкість обертання прямо пропорційна частоті живлення його статора. Ці двигуни є оборотними і можуть створювати альтернативну напругу частоти, пропорційну швидкості обертання. У багатьох системах використовуються синхронні двигуни, оскільки вони дають чудові характеристики і надійні в порівнянні з іншими типами. Основною технологією, яку можна знайти на ринку, є машини з постійними магнітами, навіть якщо також використовуються машини з намотаним ротором.

Машини з постійними магнітами представляють найкращі показники з точки зору ефективності та крутного моменту і потужності [2,6]. Для них потрібне нечасте технічне обслуговування, а контроль є відносно простим. Однак ці машини страждають від дуже низької ефективності на високих швидкостях завдяки методу послаблення поля. Крім того, інколи обмежується максимальна швидкість для запобігання зривання магнітів. Машини з

постійними магнітами широко використовуються в гібридних транспортних засобах, таких як Toyota Prius та Chevrolet Volt.

Зона послаблення поля може бути краще контрольована в машинах з намотаним ротором, діючи безпосередньо на струм ротора. Це також дозволяє уникнути зниження ефективності роботи машини на високих швидкостях.

2.2.1.3 Асинхронні або індукційні двигуни

В асинхронному двигуні існує різниця між синхронною швидкістю та робочою швидкістю. Ця різниця швидкостей, виражена у відсотках, називається ковзанням. Основною відмінністю синхронних двигунів від асинхронних є ротор. Для асинхронних, вона виготовлена або з металевого циліндра або так званих «кліткових» двигунів. Машини з «клітковими» двигунами є найбільш використовуваними в галузі, оскільки їх система управління постійно працює для застосувань із змінним крутним моментом. Вони є так званими двигунами "клітковини", оскільки форма їх ротора - внутрішнього компонента, з'єднаного з вихідним валом - виглядає як клітка. Дві круглі торцеві кришки з'єднані між собою роторними прутками, на які впливає електрорушійна сила (ЕРС), генерована статором, або зовнішній корпус, що складається з багатошарових металевих листів і намотування дроту. Статор і ротор є двома основними частинами будь-якого асинхронного двигуна, і «клітка» є просто одним із методів використання ефекту електромагнітної індукції. Змінний струму, який проходить через статор, створює ЕРС, яка коливається з частотою змінного струму, яка «обертається» навколо ротора, індукуючи протилежні магнітні поля в решітках ротора, викликаючи тим самим рух. [8].

2.3 Двигун внутрішнього згоряння

Протягом 20 століття двигун внутрішнього згоряння був технологією, яка використовувалася у кожному транспортному засобі. Технологія добре відома і постійно вдосконалюється протягом років. Сьогодні зазвичай використовуються

два типи двигунів внутрішнього згоряння: двигуни із іскровим запаленням (SI двигуни, також звані двигунами Отто) та дизельні двигуни.

ДВЗ – це зазвичай двотактні та чотиритактні двигуни, але лише чотиритактні двигуни використовуються в автомобільній промисловості. Двотактні двигуни використовуються для меншої потужності наприклад, у деяких мотоциклах чи бензопилах. Як зазначалося вище, широко використовуються два типи двигунів: двигуни SI та дизельні двигуни.

Основний принцип цих двигунів однаковий, але вони відрізняються використовуваними горючими речовинами, впорскування в камеру згоряння, типом згоряння, викидами забруднюючих речовин та функціональними характеристиками.

Загалом, двигуни внутрішнього згоряння відомі своїми межами щодо крутного моменту та швидкістю обертання:

- на низьких обертах двигун страждає від функціонуючої нестабільності через мінливість середнього крутного моменту від одного циклу до іншого;
- при високих обертах двигуна, падіння ефективності відбувається через збільшення тертя, а також обмеження механічної цілісності компонентів двигуна, тобто стає обмежувальним;
- максимальний крутний момент обмежений кількістю повітря, доступного при згорянні в камері і за рахунок деградації горіння;
- крутний момент двигуна, який відповідає поведінці двигуна, коли не впорскується паливо.

Для поліпшення характеристик двигуна або паливної економії було створено кілька систем споживання:

- 1) зменшення розміру, тобто зменшення обсягу двигуна при однаковій вихідній потужності зменшує тертя/втрати та низький режим експлуатаційних точок;

2) компресор, що виконує підвищення тиску повітря на вході через турбіну. Це називається турбокомпресор, коли він використовує вихлопні гази та турбіну для приводу компресора.

У більшості гібридних автомобілів використовуються двигуни із запалюванням іскрою. Це здебільшого завдяки нормам проти забруднення, які є суворішими для дизельних двигунів, ніж для бензинових двигунів. Перевагою цих двигунів є те, що їх можна швидко і легко вмикати і вимикати, що полегшує управління ними на гібридному транспортному засобі. Наприклад, функція різкого вимикання ДВС при зупинці автомобіля виграє від цих характеристик.

Однак він страждає від низької ефективності, як правило, від 25 до 30% [9]. Це частково можна пояснити використанням горючої речовини (палива), яке має нижчу теплотворну здатність, ніж газ. Натомість дизельні двигуни мають кращу ефективність - від 30 до 45% [9]. Порівняно з бензиновими двигунами вони вимагають більш важкої конструкції для однакової потужності. Це пояснюється різницею в процесі горіння. Дійсно, горіння відбувається шляхом самозаймання палива під час удару / стиснення. Це означає, що для забезпечення вищих рівнів тиску в камері згоряння потрібні більш міцні матеріали.

Крім того, цей тип згоряння виділяє більше CO_2 , ніж бензинові двигуни, а також інші забруднюючі речовини, такі як тверді частинки та оксиди азоту (NO_x). Більше того, з часів скандалу з Volkswagen у 2015 році, у всіх великих містах у всьому світі обговорювали заохочення проти дизельних двигунів.

Хоча деякі виробники автомобілів роблять ставку на гібридні дизельні автомобілі, такі як Peugeot з технологіями HYbrid2 та HYbrid4, бензинові двигуни, схоже, є рішенням, яке в майбутньому буде ще більш узагальненим. Дійсно, дизельні двигуни вже дорожчі за бензинові. Гібридна технологія, що збільшує ціну автомобіля, маючи як гібридну, так і дизельну версії, є найдорожчим варіантом, який може не покриватися меншим споживанням дизельного палива протягом терміну експлуатації автомобіля. Більше того, залежно від гібридної архітектури, характеристики автомобіля не настільки

залежать від теплового джерела живлення. Бензинові двигуни можуть досягти характеристик, близьких до дизельних двигунів.

2.4 Планетарна коробка перемикання передач

Для електричних гібридних транспортних засобів передача потужності є сполучною ланкою між двигуном внутрішнього згорання, електричними двигунами та колесами. Для кожної архітектури існує різне рішення використанні трансмісії. Можливий контроль крутного моменту та / або швидкості залежно від можливостей, які дає архітектура. Вибраний пристрій розподілу потужності - це планетарний набір передач, який контролює швидкості різних частин або компоненти системи: частота обертання двигуна, частота обертання електродвигуна та частота обертання вихідного валу [10].

Хоча механічний зв'язок між двома енергосистемами та трансмісією встановлений, а контрольний блок живлення необхідний для того, щоб контролювати розподіл потужності між цими системами.

Рівняння, яке пов'язує швидкості обертання планетарної шестерні, виражається в наступному рівнянні, з s індексом сонячної шестерні, r індексом кільцевої шестерні та c індексом планетарний-носії:

$$\partial = \frac{w_s - w_c}{w_r - w_c} = -\frac{Z_r}{Z_s}. \quad (2.3)$$

Z_i представляє число зубів і ω_i кутова швидкість (rad / s) компонента i . І отже, глобальна залежність між усіма швидкостями обертання така:

$$w_s - \partial \cdot w_r + (\partial - 1) \cdot w_c = 0. \quad (2.4)$$

Співвідношення крутного моменту задається рівнянням

$$T_s + T_r + T_c = 0. \quad (2.5)$$

Отже, крутні моменти даються:

$$T_c = (1 - \partial) \cdot T_s = \frac{\partial - 1}{\partial} \cdot T_r. \quad (2.6)$$

Оскільки нехтують втратами планетарних передач, рівняння потужності отримується за формулою:

$$\sum P_i = 0 \rightarrow T_s \cdot \omega_s + T_r \cdot \omega_r + T_c \cdot \omega_c = 0. \quad (2.7)$$

2.5 Перетворювач-інвертор

Перетворювач-інвертор в зборі має компакту полегшену конструкцію і об'єднує в собі ЕБУ електричних двигунів, інвертор та перетворювач. До основних вузлів інвертора і підвищуючого перетворювача відносяться інтелектуальні силові модулі (ICM), дросель і конденсатор. ICM – це інтегрований силовий модуль, який включає сигнальний процесор, процесор забезпечення захисту і біполярні транзистори з ізолюваним затвором (БТІЗ) [11].

Відведення тепла від перетворювача-інвертора в зборі забезпечує система водяного охолодження, ізолювана від системи охолодження двигуна.

В якості запобіжного захисту завдяки використанню електроенергії високої напруги передбачені вимикачі блокування, які вимикають головні реле системи за допомогою ЕБУ гібридної системи, коли знята кришка інвертора або високовольтний роз'єм від'єднаний.

Інвертор здійснює комутацію за допомогою ICM. Модулі ICM для двигуна-генератора (MG1) і електродвигуна (MG2), містять мостову схему з БТІЗ.

Підвищуючий перетворювач містить підвищуючий ІСМ, який здійснює комутацію, дросель, що виконує функції котушки індуктивності, і конденсатор, що запасає електроенергію. Підвищуючий ІСМ включає БТІ32 для підвищення напруги і БТІ31 для зниження напруги.

ЕБУ MG входить до складу перетворювача-інвертора в зборі. Відповідно до сигналів, які отримуються від ЕБУ гібридної системи, ЕБУ MG керує інвертором і підвищуючим перетворювачем для приведення в рух двигуна-генератора (MG1) або електродвигуна (MG2), або забезпечення їх роботи в режимі генерування електроенергії.

ЕБУ MG передає в ЕБУ гібридної системи інформацію, необхідну для управління автомобілем, наприклад, дані про атмосферний тиск, температуру інвертора і несправності. Від ЕБУ гібридної системи ЕБУ MG отримує інформацію, необхідну для управління двигуном-генератором (MG1) і електродвигуном (MG2), наприклад, дані про необхідне тягове зусилля і температуру двигуна-генератора (MG1) і електродвигуна (MG2).

У перетворювачі-інверторі в зборі є 4 різних датчики температури. Перший з них знаходиться на ІСМ для електродвигуна (MG2), два інших встановлені на підвищуючому перетворювачі, а останній розташований в каналі охолоджуючої рідини гібридної системи. Ці датчики вимірюють температури всередині перетворювача-інвертора і передають цю інформацію в ЕБУ гібридної системи через ЕБУ MG. ЕБУ гібридної системи оптимально управляє системою охолодження відповідно до даних про температуру, підтримуючи енергетичні характеристики перетворювача-інвертора в зборі.

Датчики струму інвертора вимірюють трифазний змінний струм, який забезпечує привід двигуна-генератора (MG1) і електродвигуна (MG2). Цей фактичний струм використовується в якості сигналу зворотного зв'язку ЕБУ MG.

Датчики струму визначають струм в трифазних обмотках двигуна-генератора (MG1) і електродвигуна (MG2).

2.6 Насос системи охолодження ДВС та інвертора

Для забезпечення циркуляції рідини в системі охолодження двигуна автомобіля застосовується центральний насос або помпа. Він може мати механічний або електричний тип приводу. Якщо помпа несправна, вся система охолодження виявиться в неробочому стані, що призведе до перегріву двигуна.

Система охолодження в автомобілі відіграє велику роль, адже від неї безпосередньо залежить правильна робота ДВС та гібридної системи протягом тривалого терміну. Якщо для автомобіля з ДВС потрібна помпа, яка буде курсувати охолоджуючу рідину через радіатор та двигун, то у гібридному автомобілі додатково встановлюється ще один насос, який по окремій системі охолодження (незалежно від ДВС), охолоджує перетворювач-інвертор у зборі та ВАБ.

Конструктивно помпа являє собою класичний відцентровий насос для перекачування води і неагресивних рідин. Вона складається з наступних деталей:

- 1) герметичний корпус (має складну форму і найчастіше виготовляється з алюмінієвих сплавів, для підключення до системи в корпусі виконані два патрубкa - всмоктуючий і напірний);
- 2) вал, що здійснює передачу обертання від приводу до крильчатки помпи;
- 3) крильчатка, або робоче колесо;
- 4) привідний шків;
- 5) ущільнювачі (сальники), які запобігають витоку охолоджуючої рідини в місцях кріплення насоса до магістралей.

Головним завданням насоса системи охолодження є створення надлишкового тиску для забезпечення примусової циркуляції рідини в контурах. З практичного боку це прискорює процес теплообміну між вузлами двигуна і охолоджувальною рідиною.

При запуску двигуна автомобіля привід насоса через ремінну передачу і вал передає обертальний рух робочого колеса. У цей момент на вході (всмоктуючому патрубку) створюється розрідження, що сприяє всмоктуванню рідини в помпу. Рідина при цьому знаходиться в охолоджені стані, так як надходить з радіатора системи охолодження.

Потрапляючи в центральну частину помпи, рідина рухається по лопатей крильчатки і під дією відцентрової сили нагнітається через вихідний патрубок в системи охолодження двигуна (до голівки блоку циліндрів). Під дією високого тиску охолоджуюча рідина проходить по контуру через основні вузли і виконує відведення тепла. Після цього вона знову повертається до радіатора, де охолоджується і всмоктується насосом для нового циклу охолодження.

В сучасному автомобілебудуванні насоси охолоджуючої рідини не мають принципових конструктивних відмінностей. Але вони можуть розділятися в залежності від типу приводу, призначення і конструкції корпусу. Привід насоса може здійснюватися двома способами. Перший спосіб механічний, коли вал помпи з'єднаний за допомогою пасової передачі з коленвалом або розподільючим валом двигуна. В цьому випадку вона приводиться в рух синхронно з запуском двигуна. Наступний спосіб – електричний, в якому вал насоса приводиться в рух додатковим електродвигуном, робота якого контролюється електронним блоком управління двигуна внутрішнього згорання (ЕБУ ДВС).

У випадку з гібридним автомобілем використовується також електричний насос для охолодження інвертор та ВАБ. Цей електричний насос починає працювати при ввімкненні живлення автомобіля. ЕБУ гібридної системи керує режимами роботи насоса в залежності від температури інвертора та ВАБ, збільшуючи чи зменшуючи його потужність.

3 ФУНКЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІБРИДНИМ АВТОМОБІЛЕМ

В автомобілях з гібридним приводом спільно використовуються джерела енергії 2 видів: ДВС і високовольтна акумуляторна батарея, що дозволяє користуватися перевагами кожного з цих джерел і одночасно компенсувати їх недоліки. В результаті забезпечується ефективна робота автомобіля. На відміну від електромобілів автомобілі з гібридним приводом не мають потреби у зовнішній підзарядці акумуляторних батарей. Таким чином, для експлуатації автомобілів з гібридним приводом не потрібна спеціальна інфраструктура. У різних областях триває технічне вдосконалення джерел енергії (таких як двигуни і паливні елементи). Гібридна система являє собою гнучку систему, в якій використовуються високоефективний силовий агрегат і електродвигуни. В автомобілях з гібридною системою є високовольтні електричні ланцюги. Тому при розробці таких автомобілів особлива увага приділялася захисту водіїв та механіків від ураження електричним струмом.

Концепція гібридного автомобіля дає 5 основних переваги: зниження витрати палива, зменшення токсичності відпрацьованих газів, плавний розгін і безшумна робота.

Система управління гібридною системою виконує наступні функції:

- 1) автоматичне вимикання двигуна на холостому ходу. Двигун, що працює на холостому ходу, автоматично зупиняється (зупинка двигуна на холостому ходу) для скорочення втрат енергії;
- 2) ефективне управління приводом. Коли ККД двигуна малий, цей привід дає автомобілю можливість рухатися тільки за рахунок енергії електродвигуна. Разом з тим, при високому ККД двигуна він забезпечує вироблення електроенергії. Таке управління дозволяє домогтися максимального сумарного ККД автомобіля;

- 3) режим приводу EV (режим електромобіля). Якщо водій натискає перемикач при виконанні відповідних умов, автомобіль може рухатися з приводом тільки від електродвигуна;
- 4) допоміжне використання електродвигуна. При розгоні потужність електродвигуна додається до потужності ДВС;
- 5) рекуперативне гальмування (Рекуперація енергії). Під час уповільнення, а також при натисненні педалі гальма частина енергії, яка зазвичай була б втрачена у вигляді тепла, накопичується у вигляді електричної енергії, що підлягає повторному використанню, наприклад, для живлення електродвигуна.

На рисунку 3.1 зображено розміщення основних вузлів гібридної системи на прикладі Toyota RAV4 Hybrid.

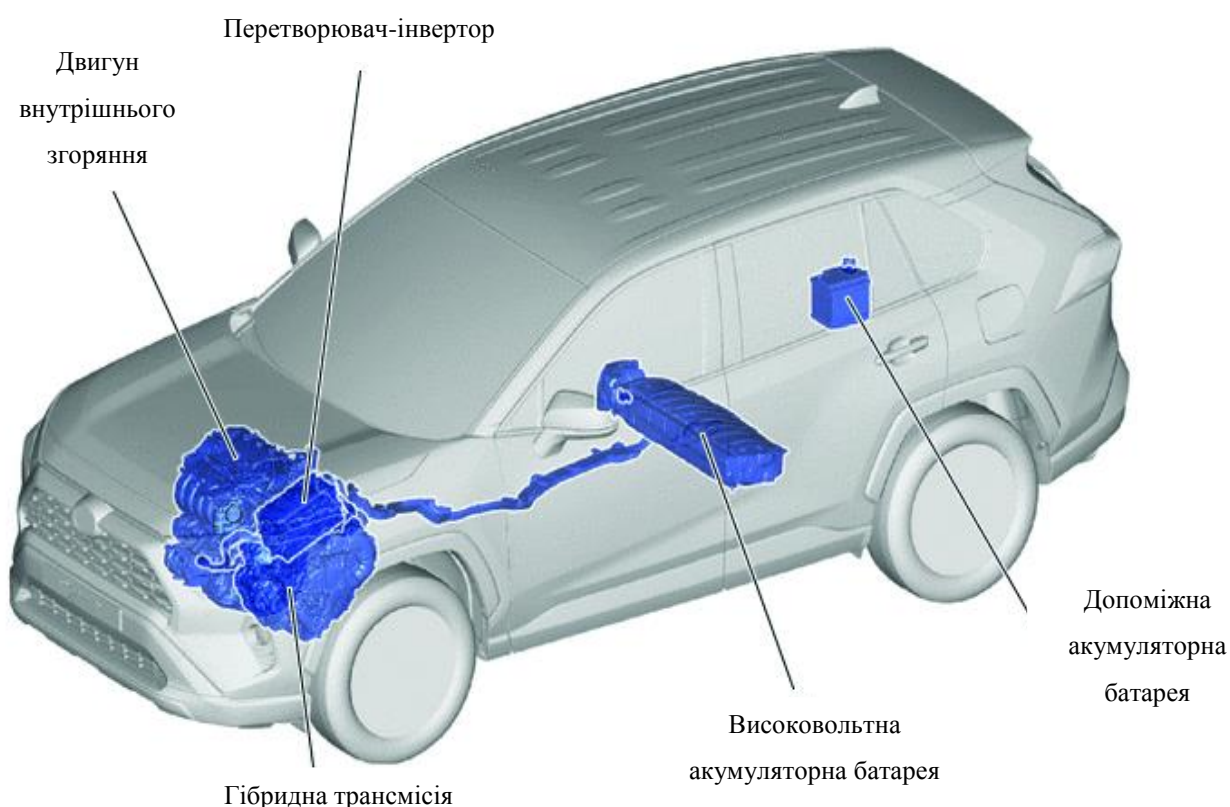


Рисунок 3.1 – Розміщення основних вузлів гібридного системи в Toyota RAV4 Hybrid

Перетворювач-інвертор в зборі складається з інвертора, підвищуючого перетворювача та перетворювача постійного струму. Гібридна трансмісія в свою чергу містить в собі два двигуна-генератора. Для охолодження перетворювача-інвертора і трансмісії використовується спеціальна система охолодження, незалежна від системи охолодження двигуна, яка зображена на рисунку 3.2.

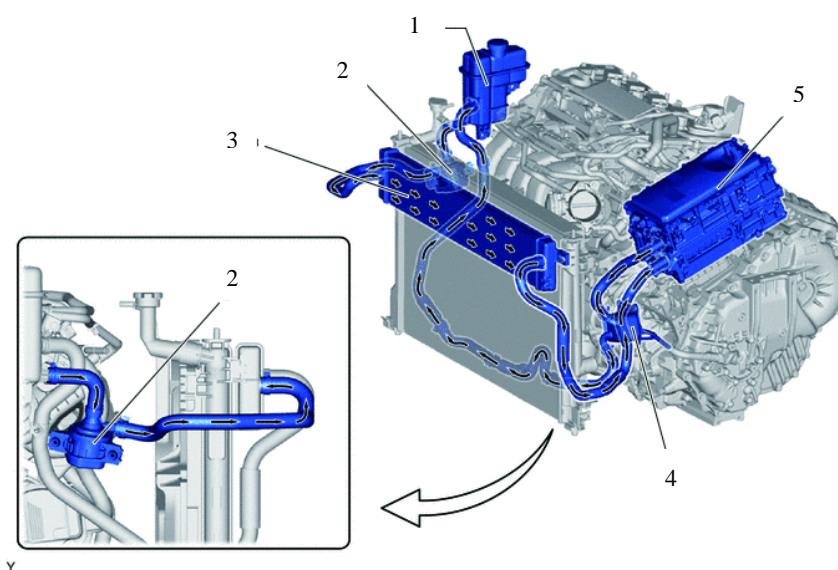


Рисунок 3.2 – Система спеціального охолодження перетворювача-інвертора та трансмісії (1 - Розширювальний бачок інвертора в зборі, 2 - Насос системи охолодження інвертора з електродвигуном в зборі, 3 - Радіатор в зборі, 4 - Гібридна трансмісія в зборі: масляний радіатор, 5 - Перетворювач-інвертор в зборі: інвертор, підвищувальний перетворювач, перетворювач постійного струму)

3.1 Застереження щодо експлуатації гібридного автомобіля

Під час експлуатації гібридного автомобіля важливими є запобіжні заходи щодо високої напруги гібридної системи. Захист від високої напруги реалізується 2 способами: ізоляцією ланцюгів високої напруги, відключенням

ланцюгів високої напруги. Гібридна система також визначає, чи не знижено опір ізоляції між системою високої напруги і масою.

Ізоляція ланцюгів високої напруги. Ланцюг високої напруги пов'язує високовольтну акумуляторну батарею, перетворювач-інвертор в зборі, гібридну трансмісію в блоці з головною передачею і компресор електродвигуна в зборі. Кожне з цих пристроїв підключається з використанням силового кабелю і електрично ізолюється корпусами і кожухами. Силовий кабель за допомогою дрютяної сітки, влаштованої в електричну ізоляцію проводів. На рисунку 3.3 на прикладі Toyota RAV4 Hybrid показано елементи гібридної системи, які з'єднуються силовим кабелем.

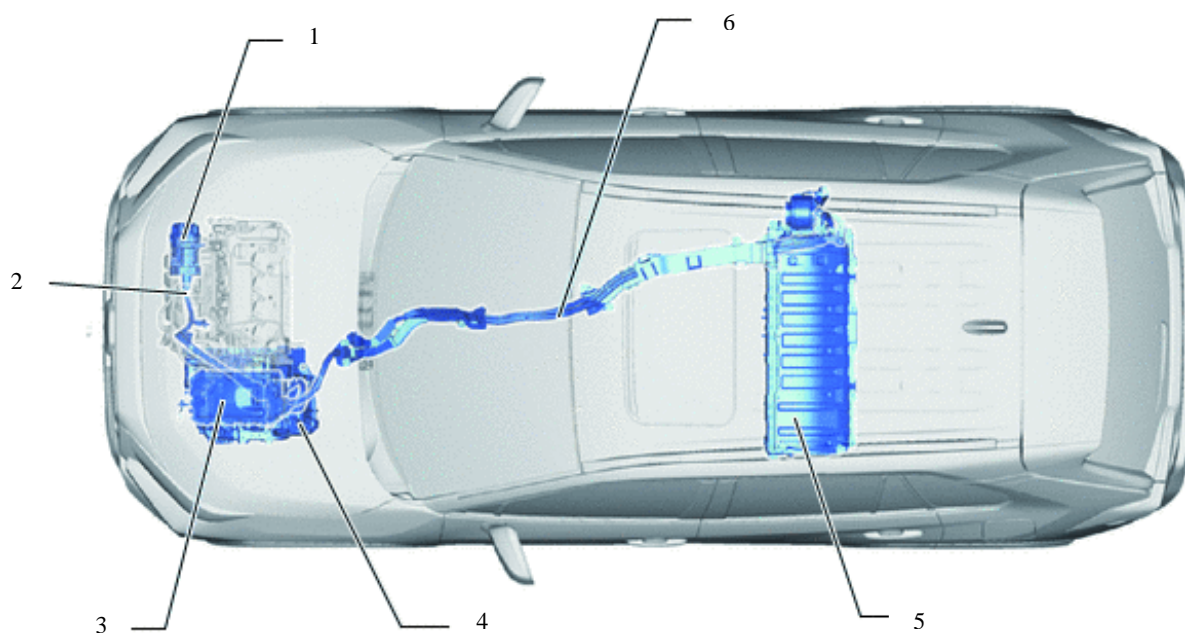


Рисунок 3.3 – Елементи гібридної системи, які з'єднуються силовим кабелем (1 - Компресор з електродвигуном в зборі, 2 - Силовий кабель (джгут проводів системи кондиціонування гібридного автомобіля), 3 - Перетворювач-інвертор в зборі, 4 - Гібридна трансмісія в зборі, 5 - Високовольтна акумуляторна батарея, 6 - Силовий кабель (джгут проводів під підлогою гібридного автомобіля))

3.2 Режими руху гібридного автомобіля

У гібридній системі тягове зусилля створюється двигуном і MG2, а MG1 використовується системою в основному в якості генератора. Система оптимальним чином поєднує ці зусилля в залежності від умов руху.

ЕБУ гібридної системи безперервно контролює ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї і її температуру, а також температуру охолоджуючої рідини двигуна і стан електричного навантаження. Якщо який-небудь контрольований параметр не відповідає вимогам, коли індикатор READY включений, і важіль перемикання передач знаходиться в будь-якому положенні, крім N, або автомобіль рухається заднім ходом, ЕБУ гібридної системи дає сигнал запуску двигуна для приведення в рух MG1 для зарядки високовольтної акумуляторної батареї.

Гібридна система призводить автомобіль в рух, оптимально керуючи спільною роботою двигуна, двигуна-генератора MG1 і MG2 відповідно до умов руху, зазначеними в рисунку 3.4 та таблиці 3.1.

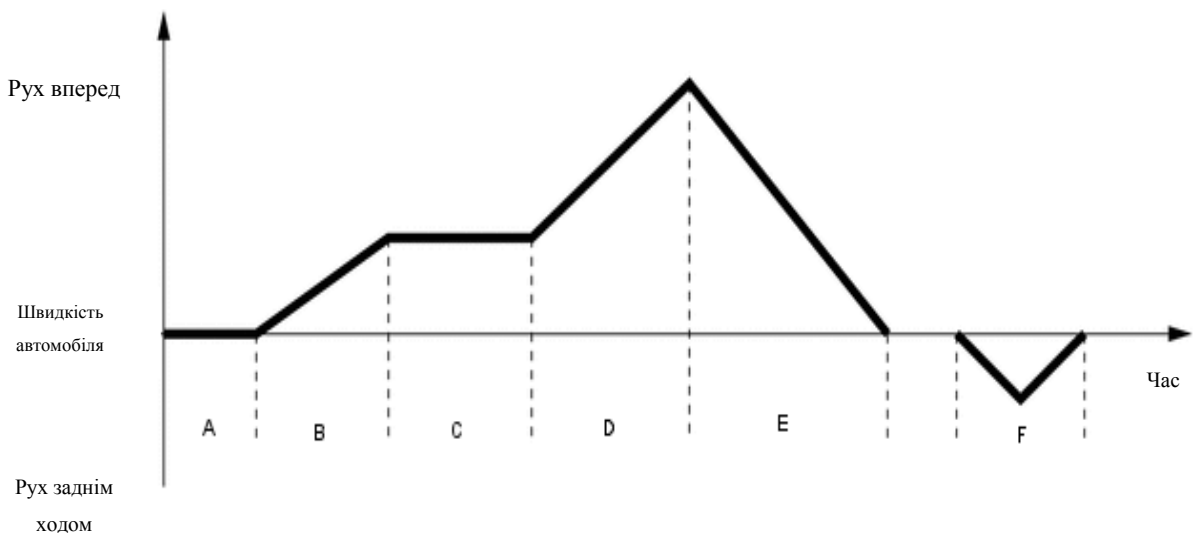


Рисунок 3.4 – Режими руху гібридного автомобіля

Таблиця 3.1 – Назви режимів руху гібридного автомобіля на рисунку 3.4.

A	Стан готовності (READY-ON)
B	Рушання з місця
	Рух з номінальною швидкістю
D	Під час розгону при повністю відкритій дросельної заслінки
E	Під час уповільнення
F	Рух заднім ходом

3.3 Розподілення енергії в гібридній системі

У цьому підрозділі на рисунках 3.5 – 3.11 цифрами показано наступні елементи: 1 – ДВС, 2 – гібридна трансмісія в зборі, 3 – диференціал, 4 – планетарна передача ділення потужності, 5 – редуктор електродвигуна, 6 – MG1, 7 – MG2, 8 – перетворювач інвертор в зборі, 9 – ВАБ.

3.3.1 Стан готовності (READY-ON)

Іноді, навіть якщо водій включає живлення (READY), двигун не запускається. В цьому випадку двигун, MG1 і MG2 залишаються зупиненими. Двигун запускається тільки при виконанні певних умов щодо температури охолоджуючої рідини двигуна, ступеня заряду високовольтної акумуляторної батареї, температури високовольтної акумуляторної батареї і електричного навантаження.

Якщо після поїздки водій зупиняє автомобіль і переводить важіль перемикачів передач в положення «Р», ЕБУ гібридної системи залишає двигун працювати. Двигун продовжить працювати, поки ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї, температура охолоджуючої рідини двигуна, температура високовольтної акумуляторної батареї та / або стан електричного навантаження не досягнуть певного рівня.

Якщо ЕБУ гібридної системи визначає, що будь-який з контрольованих ним параметрів вимагає запуску двигуна, коли індикатор READY включений, і

вибрано положення «Р», ЕБУ гібридної системи включає MG1, щоб запустити двигун. На рисунку 3.5 показано розподілення енергії в гібридній системі в стані готовності (READY-ON) при запуску двигуна.

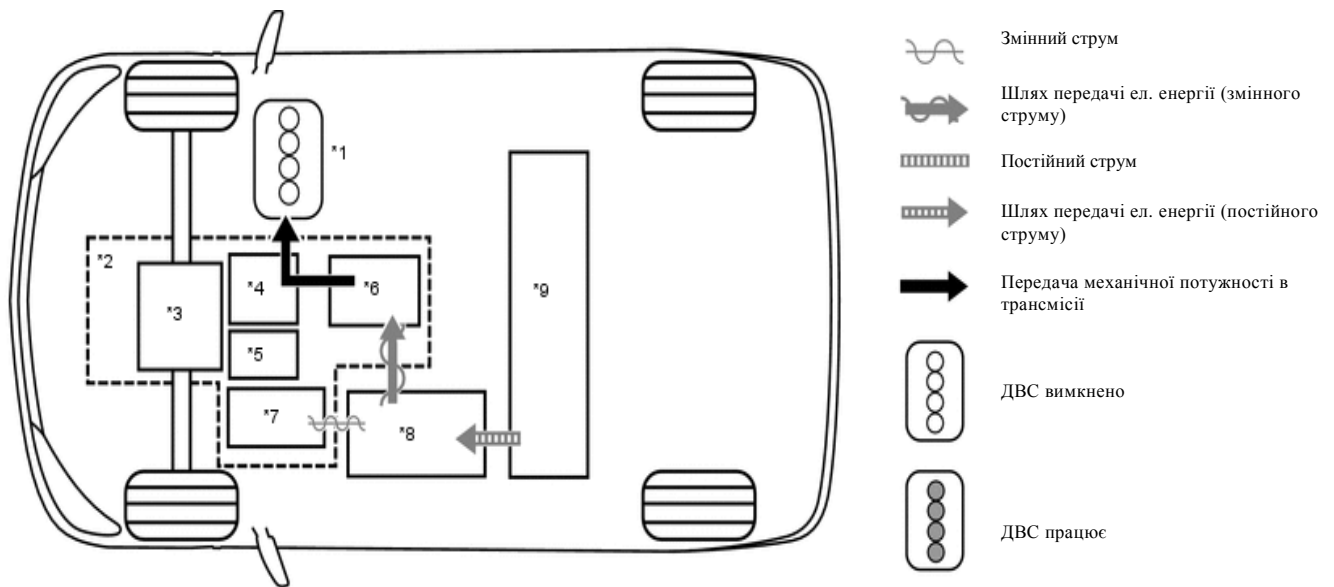


Рисунок 3.5 – Розподілення енергії в гібридній системі в стані готовності (READY-ON) при запуску двигуна

Під час прокручування колінчастого вала двигуна з метою запобігання обертання коронної шестерні і ведучих коліс реактивним зусиллям сонячної шестерні MG1, струм також подається в MG2, щоб не допустити обертання MG2. Ця функція називається "реактивне регулювання".

На рисунку 3.6 зображено як відбувається зарядка акумуляторної батареї при нерухомому автомобілі, але при ввімкнутому живленні READY-ON.

Якщо ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї низький, акумуляторна батарея заряджається MG1, що приводиться в рух двигуном.

Як видно з рисунку 3.6 зарядка відбувається за допомогою роботи двигуна внутрішнього згоряння через передачу механічної потужності в трансмісії до двигуна-генератора MG1. Далі змінний струм через канали передається до перетворювача-інвертора в зборі, а звідти постійний струм надходить до високовольтної акумуляторної батареї.

Якщо ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї низький, акумуляторна батарея заряджається MG1, що приводиться в рух двигуном. Ця потужність також використовується для живлення MG2.

3.3.3 Рух з номінальною швидкістю

Коли автомобіль рухається з постійною швидкістю, двигун працює в найбільш ефективному діапазоні, забезпечуючи автомобіль потужністю.

Тягове зусилля двигуна розділяється на два зусилля в планетарній передачі поділу потужності. Одна частина тягового зусилля використовується для прямого приводу коліс, а інша - для генерування електроенергії за допомогою MG1. На рисунку 3.8 показано розподілення енергії в гібридній системі при русі автомобіля з постійною швидкістю.

Електроенергія від MG1 використовується для приводу MG2. Він створює додаткове зусилля до тягового зусилля ДВС, переданому безпосередньо, допомагаючи знизити витрату палива. Відповідно якщо ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї низький, велика частина потужності ДВС використовується для генерації електроенергії за допомогою двигуна-генератора MG1. Він безпосередньо заряджає батарею.

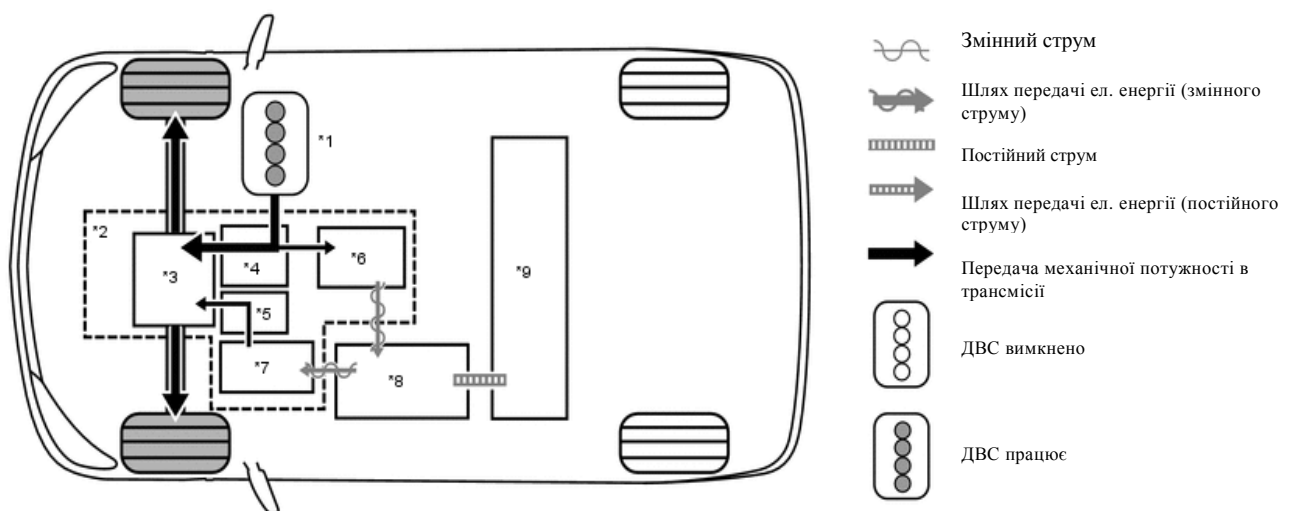


Рисунок 3.8 – Розподілення енергії в гібридній системі при русі автомобіля з низьким навантаженням

3.3.4 Рух під час розгону при відкритій дросельній заслінці

Коли автомобіль переходить з режиму руху з постійною швидкістю при низькому навантаженні в режим розгону при повністю відкритій дросельній заслінці, система доповнює крутний момент MG2 електричною потужністю високовольтної акумуляторної батареї. На рисунку 3.9 показано розподілення енергії в гібридній системі під час розгону автомобіля.

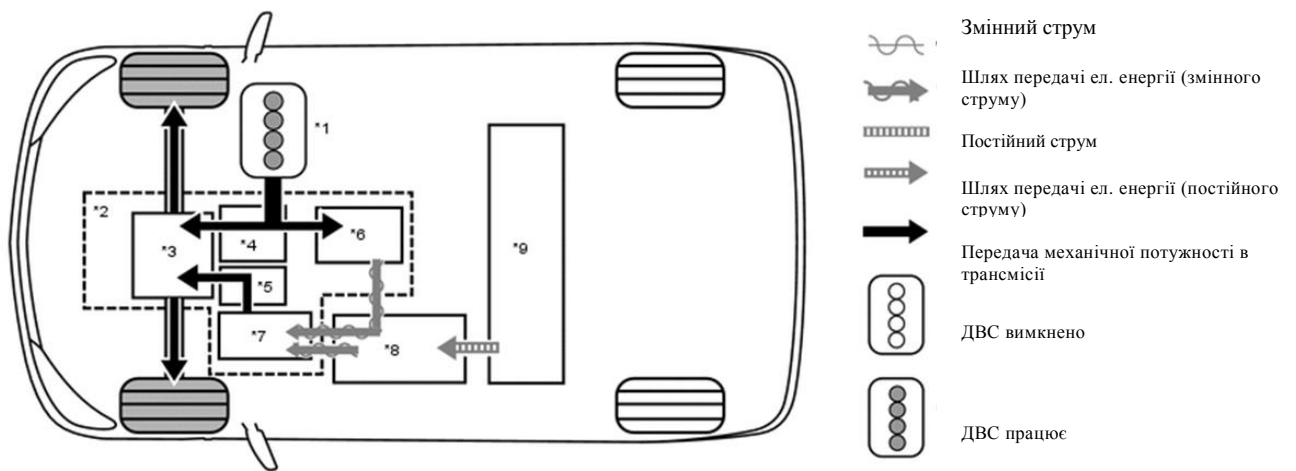


Рисунок 3.9 – Розподілення енергії в гібридній системі під час розгону автомобіля

3.3.5 Рух під час сповільнення

Коли автомобіль рухається з важелем перемикавання передач в положенні «D» і сповільнюється, двигун вимикається, і тягове зусилля від двигуна внутрішнього згоряння на колесах стає рівним нулю. Після цього колеса надають рушійну енергію двигуну-генератору MG2, змушуючи його працювати в режимі генератора, заряджаючи високовольтну акумуляторну батарею. Коли MG2 працює в якості генератора, він створює опір обертанню коліс, забезпечуючи гальмування.

Якщо автомобіль уповільнює рух на високій швидкості, колінчастий вал двигуна не припиняє роботу. Двигун буде підтримувати задану швидкість в

цілях захисту планетарної передачі в трансмісії. Розподілення енергії в гібридній системі під час сповільнення автомобіля показано на рисунку 3.10.

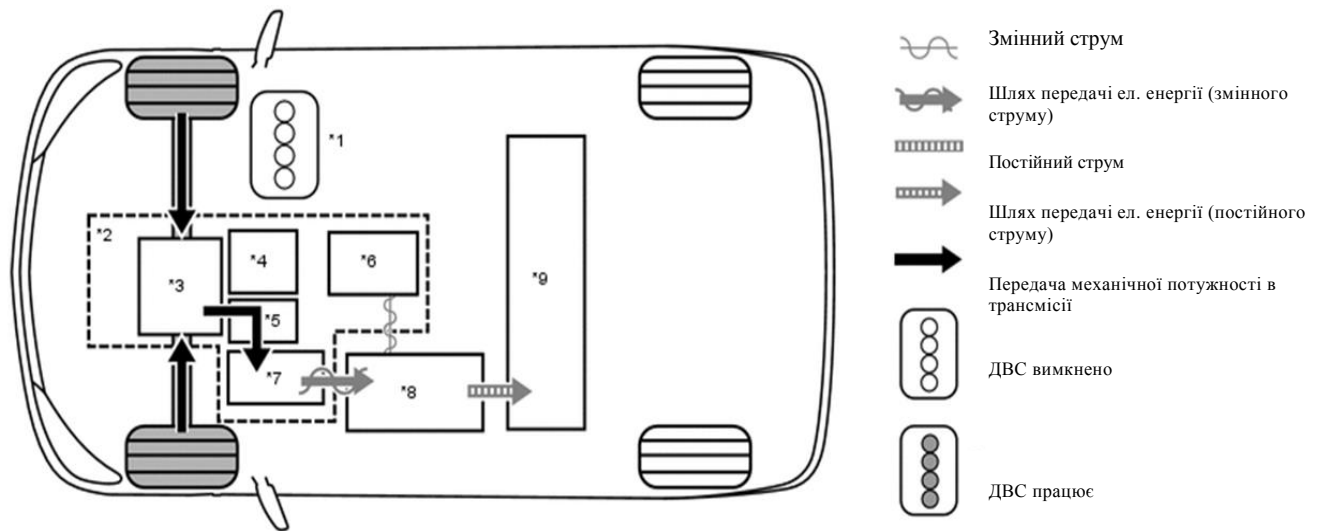


Рисунок 3.10 – Розподілення енергії в гібридній системі під час сповільнення автомобіля

3.3.6 Рух заднім ходом

Коли автомобіль рухається заднім ходом, потужність передається від MG2. В цей час MG2 обертається в протилежному напрямку руху, ДВС може залишатися зупиненим, а MG1 обертається в такому напрямку, при якому не генерується електроенергія.

Якщо під час руху заднім ходом будь-який з контрольованих ЕБУ гібридної системи параметрів (ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї, температура високовольтної акумуляторної батареї, температура охолоджуючої рідини двигуна і електричне навантаження) досягають певного рівня, двигун запускається за допомогою MG1. Представлений рисунок 3.11 показує розподілення енергії в гібридній системі при руху автомобіля заднім ходом.

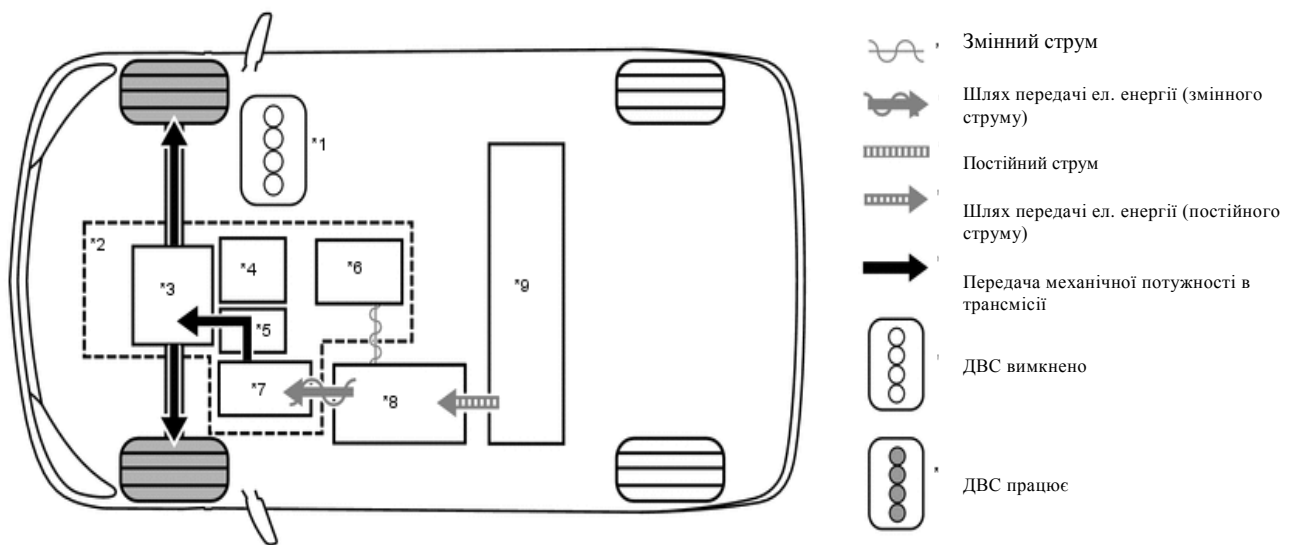


Рисунок 3.11 – Розподілення енергії в гібридній системі при руху автомобіля заднім ходом

3.4 Функції основних вузлів та деталей гібридного автомобіля

ЕБУ гібридної системи здійснює комплексне управління гібридною системою, а саме:

- отримує інформацію від різних датчиків і ЕБУ (ЕБУ ДВС, ЕБУ МГ, блоку контролю стану акумуляторної батареї (датчика напруги акумуляторної батареї) і ЕБУ системи протиковзання) і, на підставі цих даних, розраховує необхідний крутний момент і потужність;
- ЕБУ гібридної системи передає результати обчислень в ЕБУ ДВС, ЕБУ МГ і ЕБУ системи протиковзання;
- контролює ступінь заряду (SOC) високовольної акумуляторної батареї;
- контролює руйнування електричної ізоляції високовольної системи;
- керує перетворювачем постійного струму;

- керує насосом системи охолодження інвертора з електродвигуном в зборі;
- керує вентилятором системи охолодження акумуляторної батареї в зборі.

Гібридна трансмісія в зборі складається з наступних компонентів:

- 1) двигун-генератор №1 (MG1) – має привід від двигуна та генерує високу напругу, що пускає в хід MG2 і забезпечує зарядку високовольтної акумуляторної батареї та крім того, він виконує функції стартера під час пуску двигуна;
- 2) електродвигун №2 (MG2) – приводиться в рух електроенергією від MG1 і високовольтної акумуляторної батареї створює тягову силу для ведучих коліс, під час гальмування, а також коли педаль акселератора не натиснута, виробляє електроенергію високої напруги для підзарядки ВАБ;
- 3) датчик температури двигун-генератор (для MG1) – визначає температуру MG1;
- 4) датчик температури електродвигуна (для MG2) – визначає температуру MG2;
- 5) датчик температури ATF – визначає температуру охолоджуючої рідини в трансмісії;
- 6) планетарна передача поділу потужності – відповідним чином розподіляє тягове зусилля двигуна для приведення автомобіля в рух, а також для приводу MG1;
- 7) редуктор електродвигуна – знижує частоту обертання MG2 відповідно до характеристик редуктора з ціллю збільшення крутного моменту.

Перетворювач-інвертор в зборі включає в наступні елементи:

- 1) інвертор – перетворює постійний струм від підвищуючого перетворювача в змінний струм для MG1 і MG2 та навпаки (із змінного струму в постійний);
- 2) підвищуючий перетворювач – підвищує номінальну постійну напругу ВАБ постійного струму до максимальної напруги постійного струму і навпаки;
- 3) перетворювач постійного струму – знижує номінальну напругу високовольтної акумуляторної батареї постійного струму приблизно до 14 В, забезпечуючи електроживлення компонентів електрообладнання, а також для підзарядки допоміжної акумуляторної батареї;
- 4) електронний блок керування MG – керує інвертором і підвищуючим перетворювачем відповідно до сигналів, що отримуються від ЕБУ гібридної системи, забезпечуючи роботу MG1 і MG2 в режимі генератора або електродвигуна.
- 5) датчик температури перетворювача-інвертора – визначає температуру деталей перетворювача-інвертора в зборі, а також температури охолоджуючої рідини гібридної системи;

Високовольтна акумуляторна батарея включає в себе наступні елементи:

- 1) модулі ВАБ – забезпечують електроживлення для MG1 і MG2 та заряджаються від них у відповідності з умовами руху автомобіля;
- 2) захим сервісного розмикача електричного ланцюга – при знятті затиску сервісного розмикача ланцюга для перевірки або обслуговування автомобіля високовольтний ланцюг акумуляторної батареї відключається;
- 3) блок контролю стану акумуляторної батареї (датчик напруги акумуляторної батареї) – контролює стан високовольтної акумуляторної

батареї (напруга, температура і струм) і передає цю інформацію в ЕБУ гібридної системи;

4) датчик температури високовольтної акумуляторної батареї – визначає значення температури в різних місцях високовольтної акумуляторної батареї;

5) вентилятор охолодження акумуляторної батареї в зборі працює під управлінням ЕБУ гібридної системи для охолодження ВАБ;

6) вимикач блокування (для затиску сервісного розмикача ланцюга / для кришки інвертора) перевіряє, що затиск сервісного розмикача ланцюга і кришка інвертора встановлені;

Насос системи охолодження інвертора з електродвигуном в зборі працює під управлінням ЕБУ гібридної системи для охолодження перетворювача-інвертора і мотор-генераторів MG1 і MG2.

Компресор з електродвигуном в зборі приводиться в дію ЕБУ гібридною системою, використовуючи живлення від високовольтної акумуляторної батареї і впуску, стискає і випускає холодоагент з частотою обертання, обчисленої блоком управління системою кондиціонування в зборі, щоб забезпечити роботу системи кондиціонування постійно незалежно від робочого стану двигуна.

Силовий кабель поєднує ВАБ, перетворювач-інвертор в зборі, гібридну трансмісію в блоці з головною передачею і компресор з електродвигуном в зборі.

Датчик положення важеля перемикавання передач визначає перетворює фізичне положення важеля перемикавання передач в електричні сигнали і передає їх в ЕБУ гібридної системи.

Датчик положення педалі акселератора в зборі перетворює положення педалі акселератора в електричний сигнал і передає його в ЕБУ гібридної системи.

Датчик стану акумуляторної батареї в зборі визначає струм, напругу, температуру акумуляторної батареї, SOC (рівень заряду акумуляторної батареї у відсотках) та характеристики допоміжної акумуляторної батареї.

ЕБУ системи прискорювання (підсилювач гальмівної системи з головним циліндром в зборі) під час гальмування розраховує необхідне зусилля рекуперативного гальмування і передає результат в ЕБУ гібридної системи. ЕБУ системи SRS (центральний блок управління системи SRS) При зіткненні передає сигнал розгортання подушок безпеки в ЕБУ гібридної системи.

3.5 Функції керування в системі

3.5.1 Управління гібридною системою

ЕБУ гібридної системи обчислює необхідну тягове зусилля виходячи з сигналу датчика положення важеля перемикавання передач, кута повороту педалі акселератора і швидкості автомобіля. Воно здійснює управління таким чином, щоб необхідне тягове зусилля створювалося за рахунок оптимального поєднання потужностей MG1, MG2 і ДВС [12].

ЕБУ гібридної системи розраховує тягове зусилля двигуна, виходячи з необхідного тягового зусилля, визначеного на підставі команд водія і умов руху автомобіля. Щоб створити таке тягове зусилля, ЕБУ гібридної системи передає сигнали в ЕБУ ДВС. Також ЕБУ гібридної системи контролює ступінь заряду і температуру високовольтної акумуляторної батареї, а також температури MG1 і MG2, що дозволяє оптимально управляти цими пристроями.

3.5.2 Контроль рівня заряду акумуляторної батареї

ЕБУ гібридної системи обчислює ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї по струму заряду/розряду, що вимірюється датчиком струму ВАБ. На підставі обчисленого значення ЕБУ гібридної системи

безперервно управляє зарядкою/розрядкою, підтримуючи необхідний ступінь заряду акумуляторної батареї.

У процесі руху автомобіля високовольтна акумуляторна батарея піддається періодично повторюваним циклам зарядки/розрядки: вона розряджає MG2 при розгоні і заряджається за рахунок рекуперативного гальмування при уповільненні. Коли ступінь заряду знижується нижче мінімального рівня, ЕБУ гібридної системи збільшує корисну потужність двигуна для приведення в рух MG1, який заряджає високовольтну акумуляторну батарею [12].

Блок контролю стану акумуляторної батареї (датчик напруги акумуляторної батареї) перетворює сигнали, що характеризують стан високовольтної акумуляторної батареї (напруга, струм і температуру), в цифрові сигнали і передає їх в ЕБУ гібридної системи по каналу послідовного зв'язку. Ці сигнали потрібні, щоб визначити ступінь заряду, яка обчислюється ЕБУ гібридної системи. На рисунку 3.12 показано схему передачі інформації для керування рівнем заряду акумуляторної батареї.

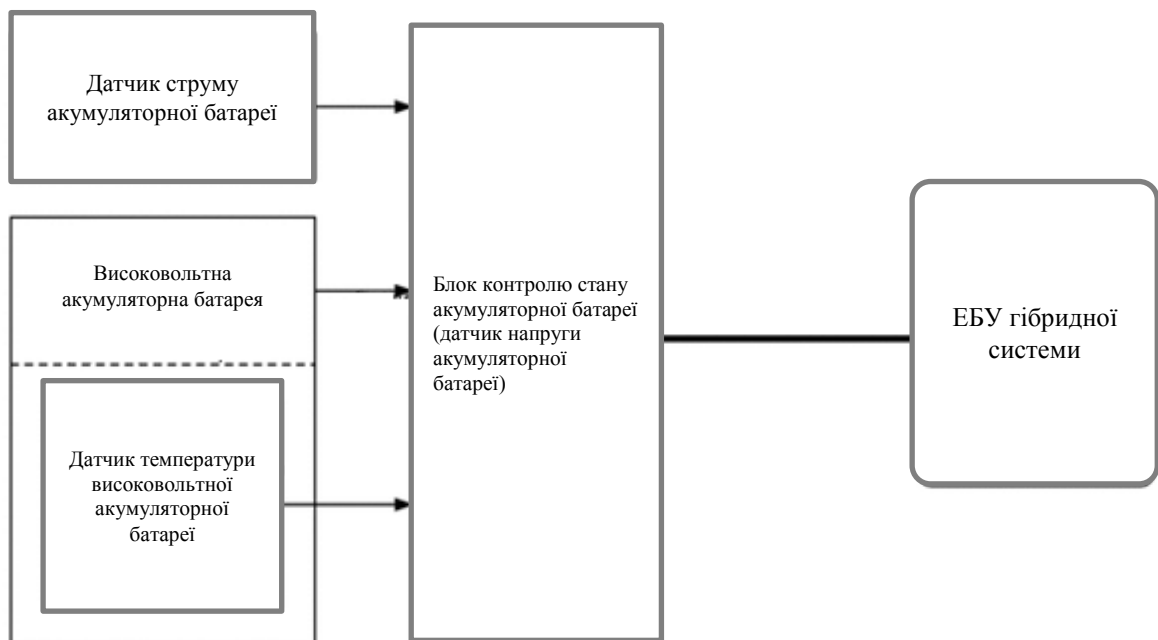


Рисунок 3.12 – Схема передачі інформації для керування рівнем заряду акумуляторної батареї

3.5.3 Система управління ДВС

ЕБУ ДВС отримує дані про необхідну частоті обертання колінчастого вала двигуна і необхідний момент двигуна, які надходять від ЕБУ гібридної системи, і управляє системами ETCS-i, VVT-i і регулює обсяг вприскування палива і кут випередження запалювання.

ЕБУ ДВС передає інформацію про режим роботи двигуна в ЕБУ гібридної системи. При отриманні команди на зупинку двигуна від ЕБУ гібридної системи відповідно до базового алгоритмом управління гібридною системою блок ЕБУ ДВС зупиняє двигун.

На рисунку 3.13 зображено схему передачі інформації між блоком керування параметрами двигуна та ЕБУ гібридної системи

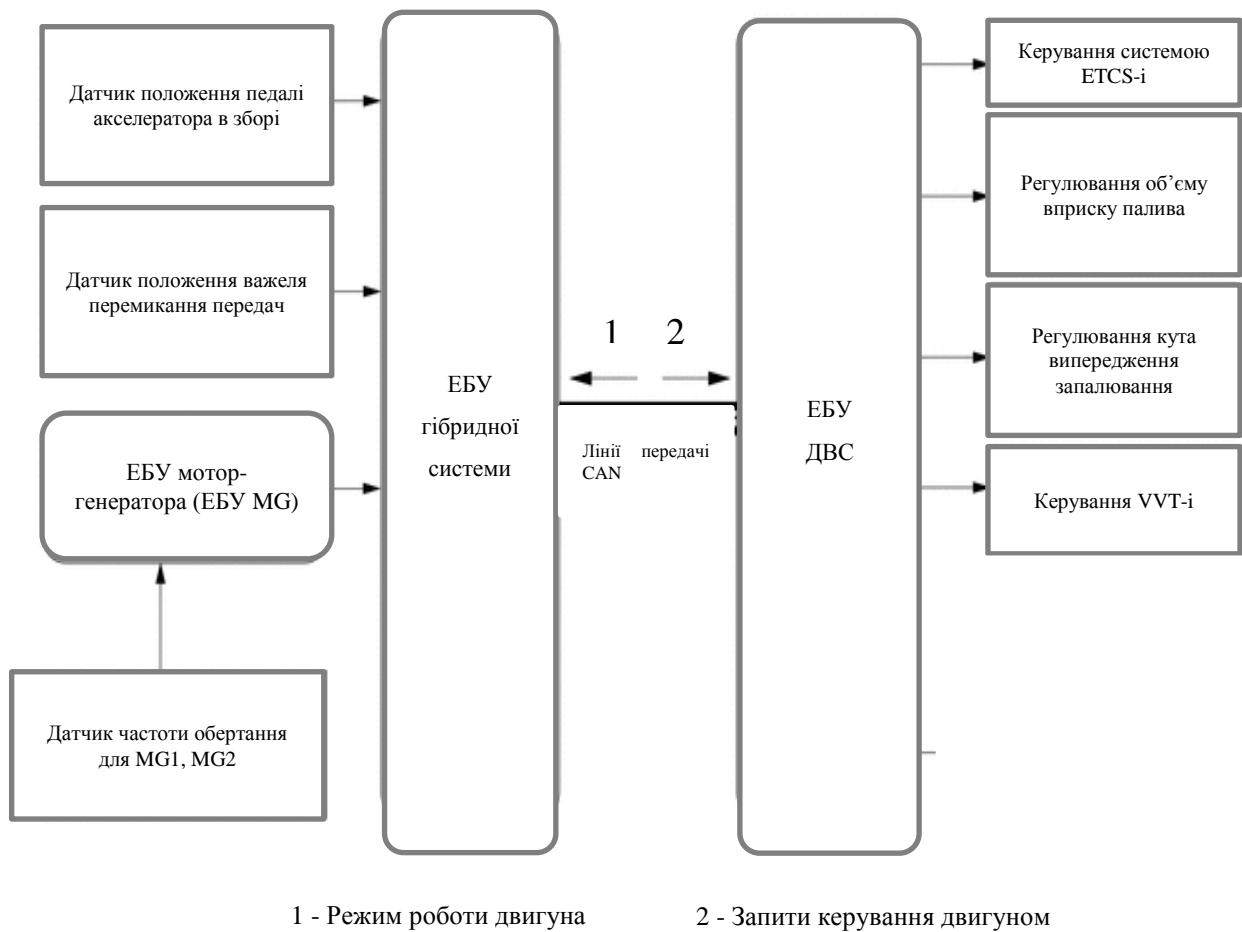


Рисунок 3.13 – Схема передачі інформації між блоком керування параметрами двигуна та ЕБУ гібридної системи

3.5.4 Загальне керування MG1 і MG2

Двигун-генератор MG1 з приводом від двигуна генерує високу напругу, що пускає в хід MG2 і забезпечує зарядку високовольтної акумуляторної батареї. Крім того, він виконує функції стартера під час пуску двигуна.

MG2, що приводиться в рух електроенергією від MG1 і / або високовольтної акумуляторної батареї, створює тягове зусилля для ведучих коліс. MG2 виробляє електроенергію високої напруги для зарядки високовольтної акумуляторної батареї в процесі гальмування (координоване управління рекуперативним гальмом), а також коли педаль акселератора не натиснута (рекуперація енергії).

MG1 і MG2 вимикаються, коли важіль селектора перекладається в нейтральне положення (N). Щоб припинити подачу тягового зусилля, необхідно зупинити MG1 і MG2, так як вони механічно пов'язані з провідними колесами.

ЕБУ MG керує транзисторами з ізольованим затвором (IGBT) в інтелектуальному силовому модулі (ICM) відповідно до сигналів, що отримуються від ЕБУ гібридної системи. IGBT служать для перемикання фаз кожного мотор-генераторі.

3.5.5 Сигнали управління інвертором

Інвертор перетворює постійний струм від ВАБ в змінний струм для MG1 і MG2 і навпаки. Крім того, інвертор відбирає потужність, яку вироблено MG1, і подає її в MG2. При цьому перед подачею в MG2 електроенергія, що генерується MG1, спочатку перетвориться інвертором в енергію постійного струму, а потім - назад в енергію змінного струму. Це необхідно, оскільки частота змінного струму на виході MG1 не підходить для управління MG2.

ЕБУ MG управляє інтелектуальними силовими модулями для перемикання трифазного змінного струму MG1 і MG2 відповідно до сигналів від ЕБУ гібридної системи. Коли ЕБУ гібридної системи отримує від ЕБУ MG сигнал про

перегрів, перевантаження по струму або короткому замиканні, ЕБУ гібридної системи передає в ЕБУ MG сигнал вимикання, щоб вимкнути модулі ICM.

3.5.6 Управління підвищуючим перетворювачем

Підвищуючий перетворювач підвищує номінальну постійну напругу високовольтної акумуляторної батареї близько 240 В пост. струму до максимального напруження близько 650 В пост. струму відповідно до сигналів, які надходять від ЕБУ гібридної системи через ЕБУ MG.

Інвертор перетворює змінний струм, що генерується MG1 або MG2, в постійний. Підвищуючий перетворювач включає підвищуючий ICM з вбудованими транзисторами IGBT, який управляє перемиканням, дросель, який зберігає електричну енергію і створює електрорушійну силу, а також конденсатор, який заряджається і розряджається підвищеною напругою.

Змінний струм, що генерується MG1 або MG2 для зарядки високовольтної акумуляторної батареї, перетворюється в постійний струм (з максимальним постійною напругою близько 650 В) інвертором. Потім підвищуючий перетворювач знижує напругу та переходить приблизно до 240 В постійного струму. Це здійснюється транзистором, який вмикається і вимикається керуючими імпульсами, який періодично перериває подачу електроенергії інвертором в дросель.

3.5.7 Керування головними реле системи

ЕБУ гібридної системи з'єднує і від'єднує ланцюг високої напруги від високовольтної акумуляторної батареї за допомогою головних реле системи. Крім того, ЕБУ гібридної системи використовує моменти вмикання/вимикання головних реле системи для контролю стану контактів реле. Щоб гарантувати належну роботу системи, використовуються 3 реле - 1 для позитивного боку (SMRB) і 2 для негативного боку (SMRP, SMRG).

Коли гібридна система переходить в стан готовності READY, ЕБУ гібридної системи послідовно включає SMRB і SMRP і подає струм через резистор попередньої зарядки. Потім він включає SMRG і подає струм в обхід резистора попередньої зарядки. Потім він вимикає SMRP. Так як в даній схемі керований струм спочатку може протікати через резистор попередньої зарядки, контактна точка ланцюга захищена від пошкодження в результаті стрибка струму.

Коли гібридна система переходить в стан, відмінний від стану готовності READY, ЕБУ гібридної системи спочатку вимикає SMRG. Потім він визначає, чи правильно працює SMRG, після чого вимикає SMRB. Далі він включає SMRP, перевіряє роботу SMRB і вимикає SMRP. В результаті ЕБУ гібридної системи підтверджує належну вимикання відповідних реле.

3.5.8 Керування системою охолодження для перетворювача-інвертора

ЕБУ гібридної системи отримує сигнали від датчиків температури перетворювача-інвертора, MG1 і MG2. Потім ЕБУ гібридної системи призводить в дію насос системи охолодження інвертора з електродвигуном в зборі на одному з декількох рівнів керуючими імпульсами, забезпечуючи охолодження перетворювача-інвертора в зборі, MG1 і MG2.

Коли температура охолоджуючої рідини гібридної системи перевищує певний рівень, ЕБУ гібридної системи передає в ЕБУ ДВС команду включення вентилятора радіатора. Отримавши цей сигнал, ЕБУ ДВС пускає вхід вентилятор радіатора, обмежуючи підвищення температури охолоджуючої рідини гібридної системи і забезпечуючи охолодження перетворювача-інвертора в зборі, MG1 і MG2.

ЕБУ MG перетворює ці сигнали в цифрову форму і передає їх в ЕБУ гібридної системи по каналу послідовного зв'язку.

3.5.9 Керування системою охолодження для ВАБ

ЕБУ гібридної системи отримує сигнали від датчика температури високовольтної акумуляторної батареї. При цьому ЕБУ гібридної системи плавно регулює тривалість включення вентилятора системи охолодження ВАБ, підтримуючи її температуру в заданому діапазоні.

Блок контролю стану акумуляторної батареї (датчик напруги акумуляторної батареї) перетворює сигнали, що характеризують стан високовольтної акумуляторної батареї (напруга, струм і температуру), в цифрові сигнали і передає їх в ЕБУ гібридної системи по каналу послідовного зв'язку. Крім того, блок контролю стану акумуляторної батареї (датчик напруги акумуляторної батареї) формує сигнал зворотного зв'язку з інформацією про частоту обертання вентилятора, необхідний для управління системою охолодження, і передає його в ЕБУ гібридної системи.

3.5.10 Координоване управління рекуперативним гальмуванням

ЕБУ системи протиковзання розраховує загальне необхідну гальмівне зусилля, виходячи з тиску регулятора гальмівної системи і ходу педалі гальма, коли водій натискає педаль гальма. Після розрахунку загального необхідного гальмівного зусилля ЕБУ системи протиковзання передає запит рекуперативного гальмування в ЕБУ гібридної системи. У відповідь ЕБУ гібридної системи передає фактичне значення управління рекуперативним гальмом. ЕБУ гібридної системи використовує MG2 для створення негативного крутного моменту (зусилля уповільнення) і, забезпечує рекуперативне гальмування. ЕБУ системи протиковзання управляє електромагнітними клапанами блоку управління робочими циліндрами гальм і створює тиск в робочих гальмівних циліндрах. Створюваний тиск являє собою величину, яка залишається після вирахування поточного значення управління рекуперативним гальмуванням із загального необхідного гальмівного зусилля.

4 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІБРИДНИМ АВТОМОБІЛЬ

4.1 Перехід до векторно-матричних моделей

Легкові автомобілі, які рухаються по дорогам мають оснащуватися системами автоматичного керування швидкістю. В різних моделях коефіцієнт передачі двигуна варіюється в діапазоні від 10 до 1000. В даній магістерській дисертації вибрано 20. Математична модель у вигляді передавальної функції, яка використана в дисертації описана в Дорф Р., Бишоп Р. «Современные системы управления» і має вид:

$$W(s) = \frac{20}{s^2 + 3.5s + 7}.$$

Так як у складі передавальної функції присутні комплексні корені $s_{1,2} = -1.75 \pm 1.9843j$, було виконано дослідження аналітичних методів переходу до моделей безперервних систем у методі просторі станів та моделей передавальних функцій цифрових систем.

Матричний метод. Матричний метод дає можливість зразу записати матриці **A**, **B**, **C**, **D** на основі коефіцієнтів диференційного рівняння [19]. Відповідно до методу вихідне диференційне рівняння має вид (4.1):

$$\sum_{i=0}^n a_i \cdot y^{(i)}(t) = \sum_{i=0}^n b_i \cdot u^{(j)}(t). \quad (4.1)$$

Відповідні матриці **A**, **B**, **C**, **D** записано формулами (4.2-4.5), які мають вид:

$$\mathbf{A} = \frac{1}{a_n} \begin{bmatrix} -a_{n-1} & a_n & 0 & \dots & 0 \\ -a_{n-2} & 0 & a_n & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & a_n \\ -a_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}; \quad (4.2)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \frac{1}{a_n} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}; \quad (4.3)$$

$$\mathbf{B} = \frac{1}{a_n} \begin{bmatrix} a_n b_{n-1} - a_{n-1} b_n \\ a_n b_{n-2} - a_{n-2} b_n \\ \vdots \\ a_n b_0 - a_0 b_n \end{bmatrix}; \quad (4.4)$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \frac{b_n}{a_n} \end{bmatrix}. \quad (4.5)$$

Відповідно до заданого перехідного процесу, виконано перехід до запису динаміки системи через диференційне рівняння:

$$\ddot{y}(t) + 3.5\dot{y}(t) + 7y(t) = 20u(t).$$

Було виконано перетворення Лапласа від лівої і правої частин $f^{(n)}(t) \rightarrow s^n F(s)$, в результаті було отримано наступні вирази:

$$s^2 Y(s) + 3.5sY(s) + 7Y(s) = 20U(s);$$

$$Y(s)(s^2 + 3.5s + 7) = U(s) \cdot 20;$$

$$A(s) = s^2 + 3.5s + 7, B(s) = 20.$$

Для розрахунку матриць **A**, **B**, **C**, **D** записано формули (4.2-4.5), які мають вид:

$$\mathbf{A} = \frac{1}{a_2} \begin{bmatrix} -a_1 & a_2 \\ -a_0 & 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{1} \begin{bmatrix} -3.5 & 1 \\ -7 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3.5 & 1 \\ -7 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{B} = \frac{1}{a_2} \begin{bmatrix} a_2 b_1 - a_1 b_2 \\ a_2 b_0 - a_0 b_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{1} \begin{bmatrix} 1 * 0 - 3.5 * 0 \\ 1 * 20 - 7 * 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 20 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}.$$

Діагональна та жорданова форма. Застосовано перетворення Лапласа для передавальної функції об'єкту керування, яка має вигляд:

$$s^2 Y(s) + 3.5s Y(s) + 7Y(s) = 20U(s)$$

$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{20}{s^2 + 3.5s + 7}.$$

Було отримано корені рівняння $s^2 + 3.5s + 7 = 0$ за допомогою командного рядка MATLAB:

```
>> root ([1 3.5 7])
ans =
-1.7500 + 1.9843i
-1.7500 - 1.9843i
```

Коренні рівняння дорівнюють: $s_{1,2} = -1.75 \pm 1.9843j$.

У рівнянні $s^2 + 3.5s + 7 = 0$ корені комплексні. Використовується блочно-діагональна форма, коли двом комплексно-спряженим кореням $s_{i,i+1} = \alpha_i \pm j\beta_i$ відповідають блоки вигляду (4.6):

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \alpha_i & \beta_i \\ -\beta_i & \alpha_i \end{bmatrix}. \quad (4.6)$$

Матриця \mathbf{B} формується іншим чином. За формулою (4.7) розраховуються компоненти d_i виду:

$$d_i = \lim_{s \rightarrow s_i} (s - s_i) \frac{B(s)}{A(s)}. \quad (4.7)$$

Для комплексно-спряжених пар коренів k , отримується стільки ж комплексно-спряжених пар значень коефіцієнтів d_i . Матриця \mathbf{B} формується не з

комплексних чисел, а суми дійсної та уявної частин. Тобто, якщо за формулою (4.7) комплексно-спряжені корені $d_{1,2} = \gamma_1 \pm j\mu_1$, то за формулою (4.8):

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \gamma + \mu \\ \gamma - \mu \end{bmatrix}. \quad (4.8)$$

Згідно формули (4.6), так як корені у знаменнику передавальної функції комплексні, матрицю \mathbf{A} має вигляд:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -1.75 & 1.9843 \\ -1.9843 & -1.75 \end{bmatrix}.$$

За формулою (4.7) отримуються показники для визначення коефіцієнтів матриці \mathbf{B} :

$$\begin{aligned} d_1 &= \lim_{s \rightarrow -1.75 + 1.9843j} (s + 1.75 - 1.9843j) \frac{20}{(s + 1.75 + 1.9843j)(s + 1.75 - 1.9843j)} = -5.03956j; \\ d_2 &= \lim_{s \rightarrow -1.75 - 1.9843j} (s + 1.75 + 1.9843j) \frac{20}{(s + 1.75 + 1.9843j)(s + 1.75 - 1.9843j)} \\ &= 5.03956j. \end{aligned}$$

За (4.7) $\gamma = 0$, $\mu = 5.03956$, тоді за формулою (4.8) матриця \mathbf{B} записується:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \gamma + \mu \\ \gamma - \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5.03956 \\ -5.03956 \end{bmatrix}.$$

Матриці $\mathbf{C} = [1 \ 1]$, $\mathbf{D} = [0]$.

Дослідження розрахованих аналітично моделей з комплексними коренями та перевірка їх адекватності проводиться з використання пакету MATLAB/Simulink. Схема моделювання системи з методами простору станів представлена на рисунку 4.1.

Відповідно у блоці State-Space_1 записані матриці, що розраховано матричним методом, а блоці State-Space_2 записані матриці, що розраховано діагональною та жордановою формою.

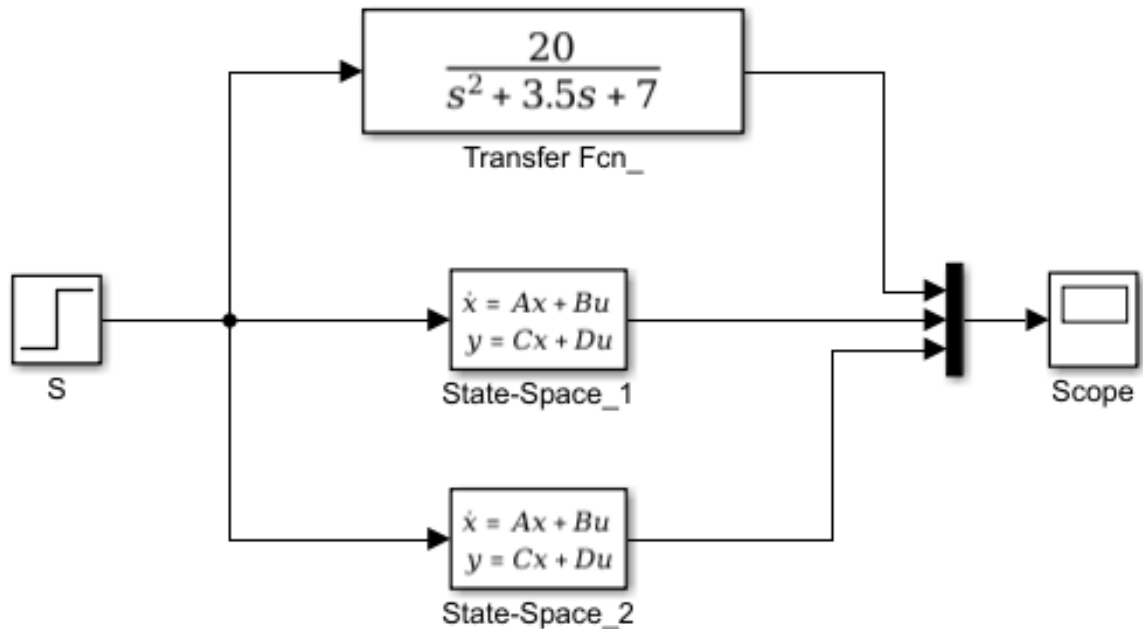


Рисунок 4.1 – Схема моделювання системи з методами переходу до простору станів

Параметри блоків State-Space_1 та State-Space_2 показано на рисунку 4.2.

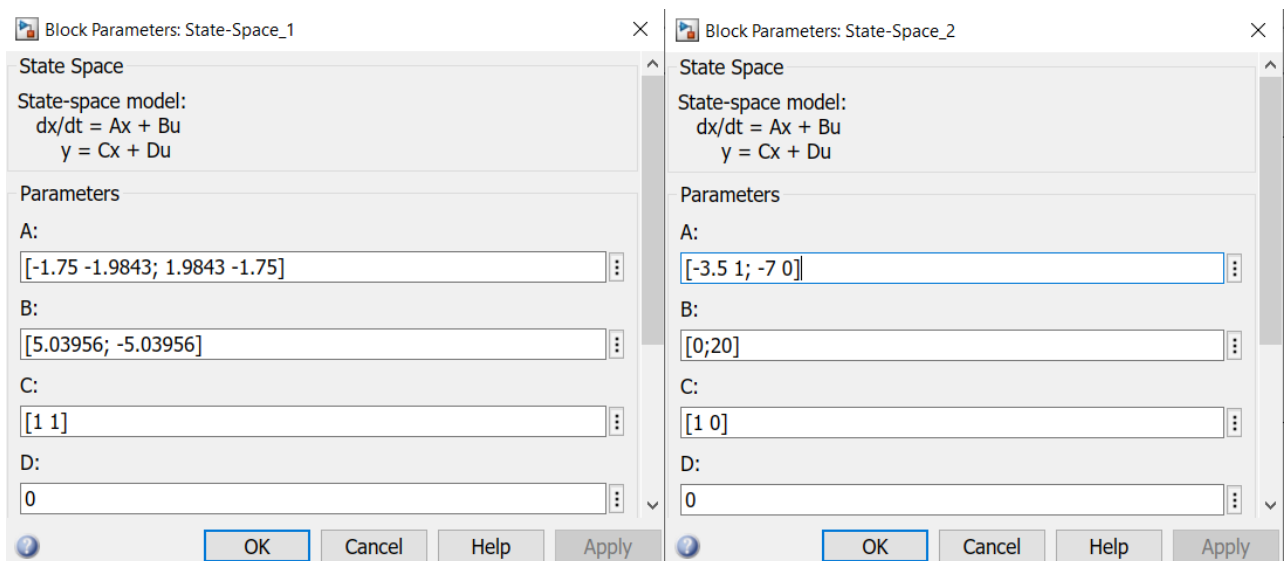


Рисунок 4.2 – Параметри блоків State-Space_1 та State-Space_2

Результати моделювання системи показано на рисунку 4.3. З графіку перехідного процесу можна зробити висновок, що методи переходу до векторно-матричних моделей показують однаковий результат моделювання.

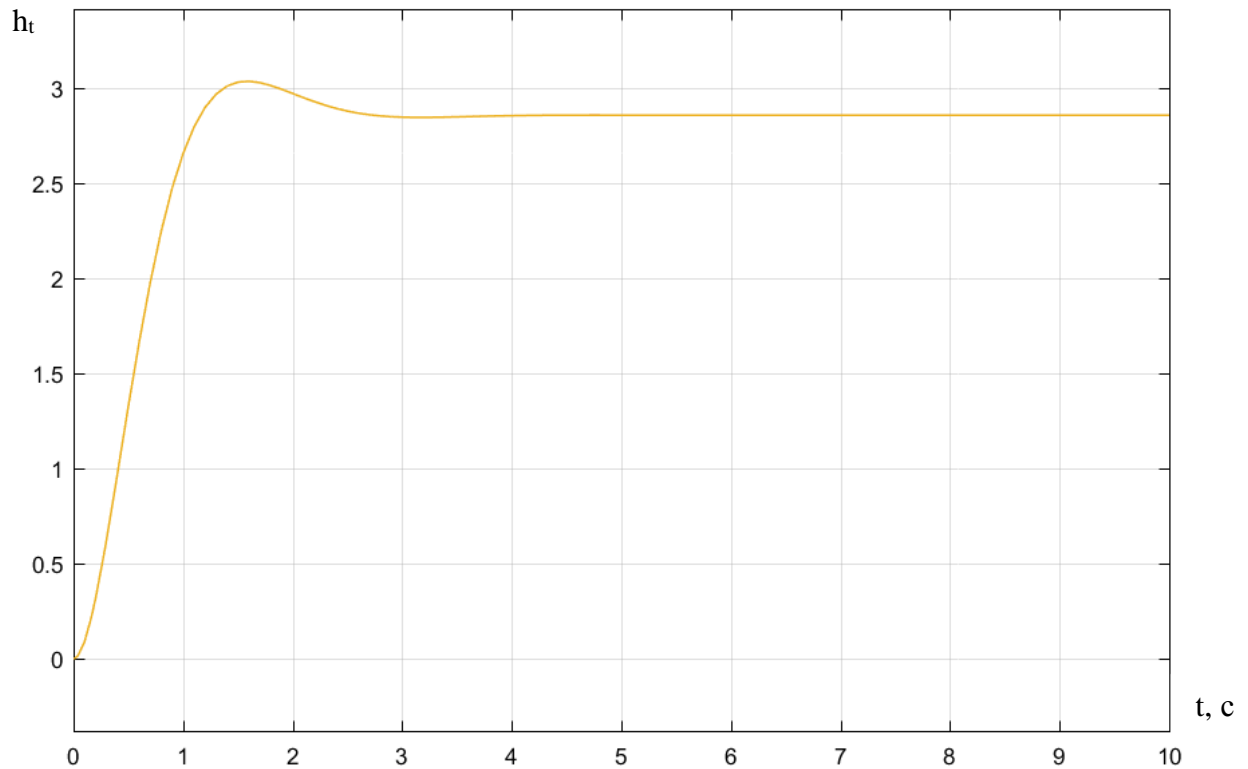


Рисунок 4.3 – Результати моделювання системи з методами переходу до простору станів

Показники якості перехідного процесу:

$$h_{\max} = 3.036, h_{\text{уст}} = 2.858, t_{\text{уст}} = 4,5 \text{ с}, t_{\text{пп}} = 3 \text{ с}, \sigma = 17,8\%.$$

4.2 Розроблення та дослідження аналітичних моделей цифрових систем керування

Для цифрових систем керування існує аналітичний метод переходу до моделі у вигляді передавальної функції цифрової системи (4.9):

$$W_{\text{ПБЧ}}(z) = \frac{z-1}{z} \cdot Z \left\{ \frac{W_{\text{БЧ}}(s)}{s} \right\}. \quad (4.9)$$

Але слід відзначити, що виникає певна складність отримання аналітичного виразу цифрової передавальної функції з використанням z -перетворення [20]. Тому єдиний шлях спрощеного методу є використання командного рядка пакету MATLAB/Simulink:

```
>> W=tf([20],[1 3.5 7])
```

```
W = 20
```

```
-----
```

```
s^2 + 3.5 s + 7
```

Continuous-time transfer function.

```
>> T=0.1
```

```
T = 0.1000
```

```
>> W2=c2d(W,T)
```

```
W2 =
```

```
0.08878 z + 0.07899
```

```
-----
```

```
z^2 - 1.646 z + 0.7047
```

```
Sample time: 0.1 seconds
```

Для перевірки адекватності цифрових моделей системи керування гібридним автомобілем, розроблено схему моделювання системи керування гібридним автомобілем (Рисунок 4.4) та отримано відповідний перехідний процес цифрової системи (Рисунок 4.5).

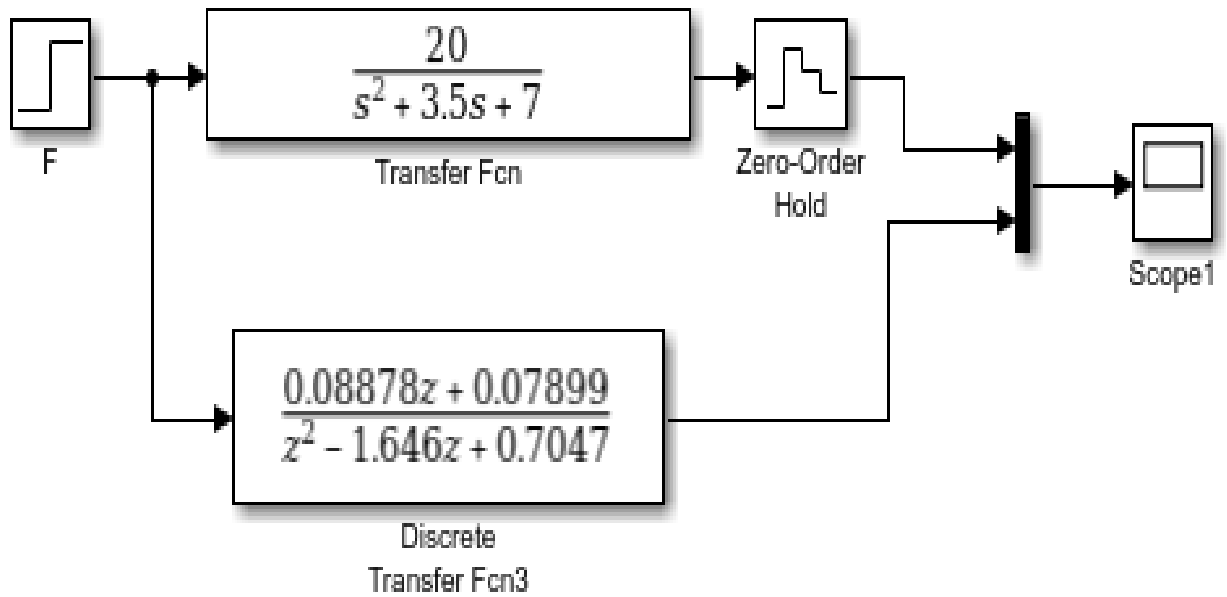


Рисунок 4.4 – Схема цифрової моделі системи керування гібридним автомобілем

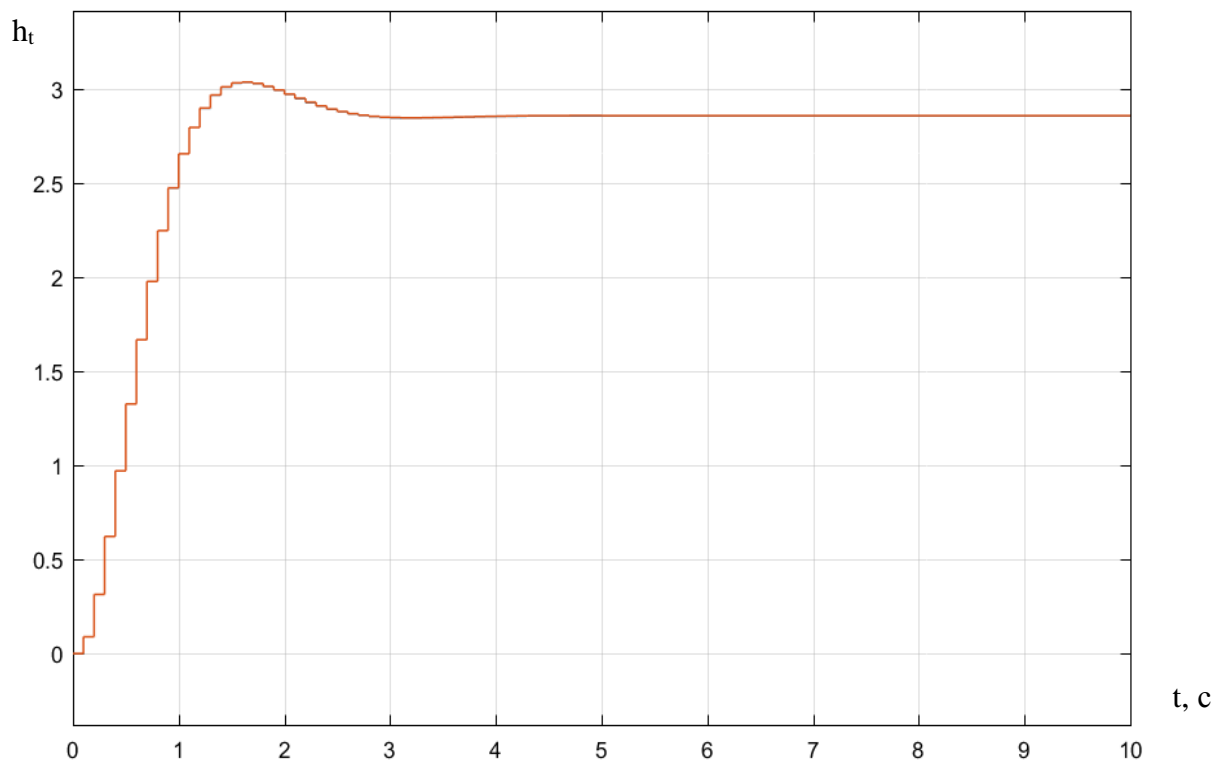


Рисунок 4.5 – Перехідний процес цифрової системи

4.3 Синтез цифрової системи зі зворотнім зв'язком за станом

Як відомо, якість систем керування визначається показниками якості перехідного процесу та помилки в установленому. За графіком перехідного процесу представленого на рисунку 4.6 визначено показники якості:

- час перехідного процесу;
- перерегулювання;
- помилка.

Так як у системі присутня помилка і бажане скорочення часу перехідного процесу, тому розглянемо питання синтезу цифрової системи керування:

$$W(s) = \frac{20}{s^2 + 3.5s + 7}.$$

Векторно-матрична модель було отримано з використанням командного рядка MATLAB. У командному рядку записано рівняння перехідного процесу:

```
>> W=tf([20],[1 3.5 7])
```

```
W =
```

```
    20
```

```
-----
```

```
 s^2 + 3.5 s + 7
```

```
Continuous-time transfer function.
```

Далі записано час дискретизації

```
>> T=0.1
```

```
T = 0.1000
```

За допомогою команди c2d здійснено перехід до цифрової системи

```
>> W2=c2d(W,T)
```

```
W2 =
```

```
 0.08878 z + 0.07899
```

$$z^2 - 1.646z + 0.7047$$

Sample time: 0.1 seconds

Discrete-time transfer function.

Векторно-матричну модель об'єкта керування обчислюється за допомогою команди ss командного рядка MATLAB.

```
>> ss(W2)
```

```
ans =
```

```
A =
```

```
      x1      x2
x1  1.646 -0.7047
x2      1      0
```

```
B =
```

```
      u1
x1  0.5
x2  0
```

```
C =
```

```
      x1      x2
y1 0.1776 0.158
```

```
D =
```

```
      u1
y1  0
```

Отже матриці **A,B,C,D** :

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1.646 & -0.7047 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{C} = [0.1776 \quad 0.158]; \quad \mathbf{D} = 0.$$

На рисунку 4.6 представлено схему моделі системи управління з приєднаним блоком Check Step Response Characteristics для знаходження бажаних коренів характеристичного поліному.

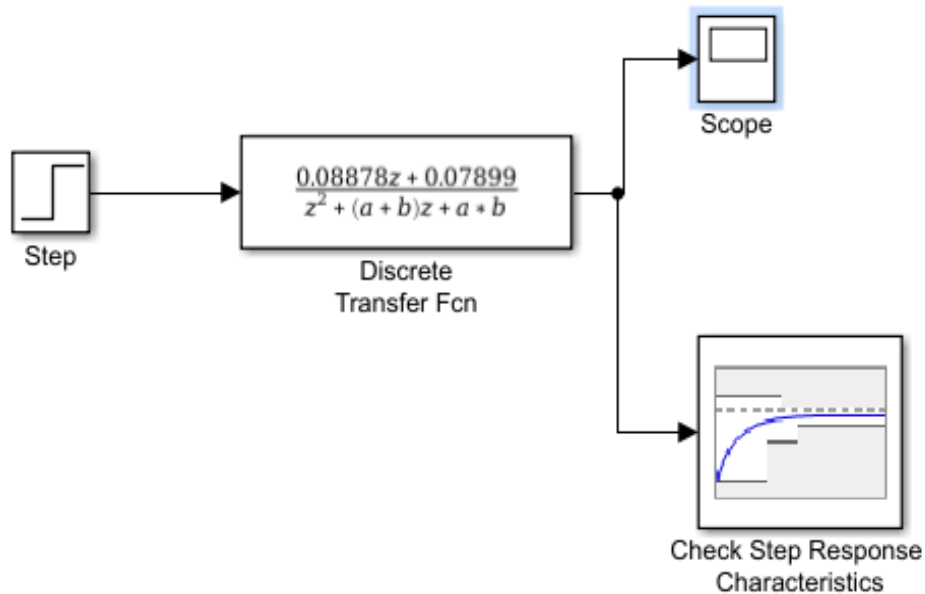


Рисунок 4.6 – Схема моделі системи управління для визначення бажаних коренів характеристичного рівняння

В блоці Check Step Response Characteristics в якості параметрів для налаштування додано a та b (Рисунок 4.7), а також вказано бажаний діапазон перехідного процесу.

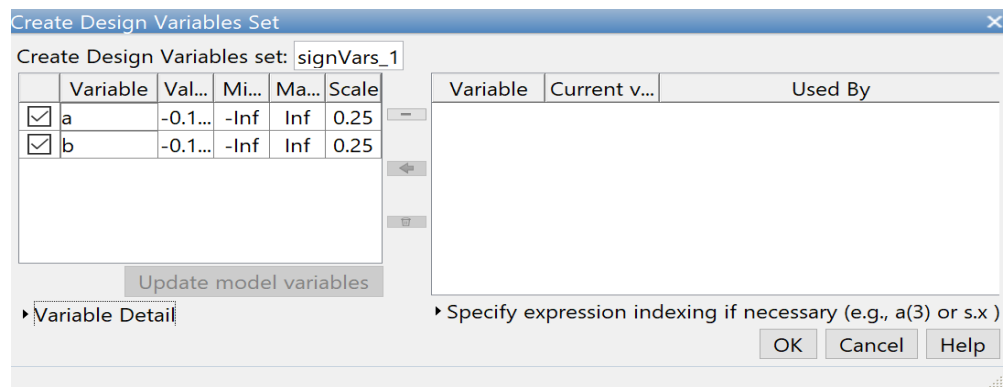


Рисунок 4.7 – Вибір змінних оптимізації

В результаті оптимізацію було отримано бажаний перехідний процес (рисунок 4.8).

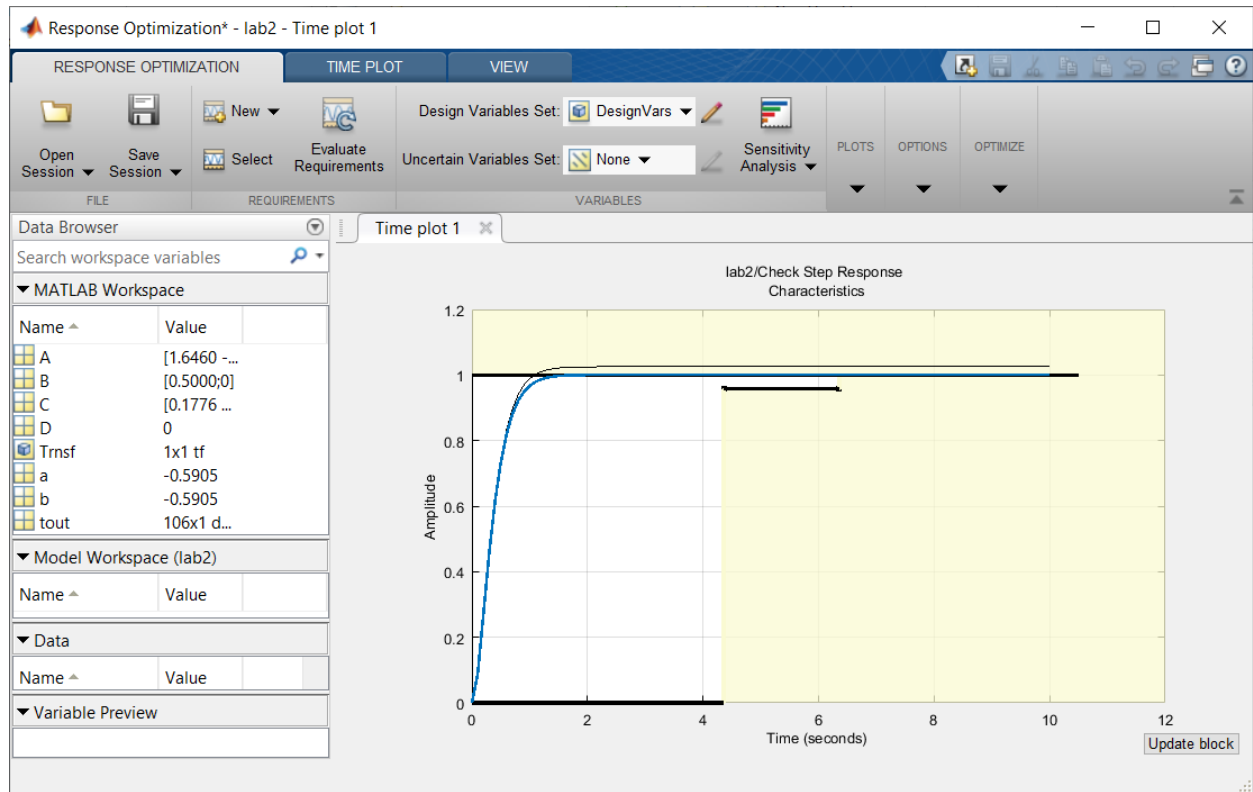


Рисунок 4.8 – Бажаний перехідний процес

В результаті отримано:

$$a = -0.5905;$$

$$b = -0.5905.$$

Тобто бажаний характеристичний поліном матиме наступний вигляд:

$$D_B(z) = z^2 - 1.181z + 0.3487$$

$$\begin{aligned} |zE - A + B * K| &= \begin{vmatrix} z & 0 \\ 0 & z \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 1.646 & -0.7047 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0.5 \\ 0 \end{vmatrix} |k_1 \quad k_2| = \\ &= \begin{vmatrix} z - 1.646 & 0.7047 \\ -1 & z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0.5k_1 & 0.5k_2 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} z - 1.646 + 0.5k_1 & 0.7047 + 0.5k_2 \\ -1 & z \end{vmatrix} = \end{aligned}$$

$$= z^2 + (0.5k_1 - 1.646)z + 0.7047 + 0.5k_2$$

Прирівняно відповідні коефіцієнти:

$$\begin{cases} 0.5k_1 - 1.646 = -1.181 \\ 0.7047 + 0.5k_2 = 0.3487 \end{cases}$$

$$\begin{cases} k_1 = 0.93 \\ k_2 = -0.712 \end{cases}$$

Тоді матриця зворонього зв'язку дорівнює:

$$K = [0.93 \quad -0.712]$$

На рисунку 4.9 зображено схему цифрової системи зі зворотнім зв'язком, а на рисунку 4.10 перехідний процес відрегульованої системи:

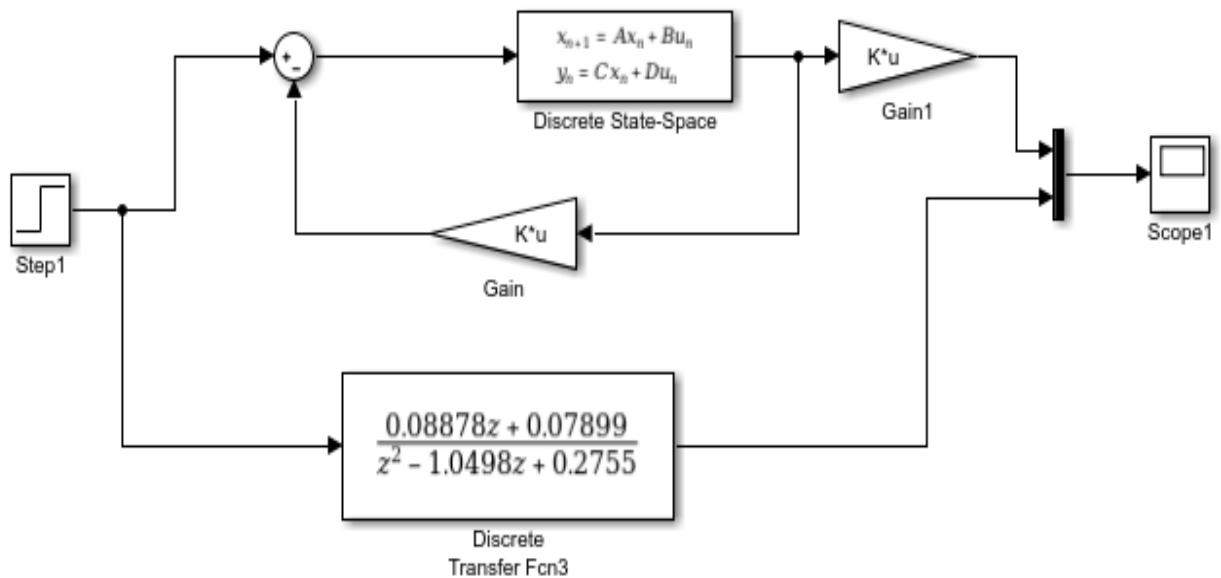


Рисунок 4.10 – Схема цифрової системи зі зворотнім зв'язком

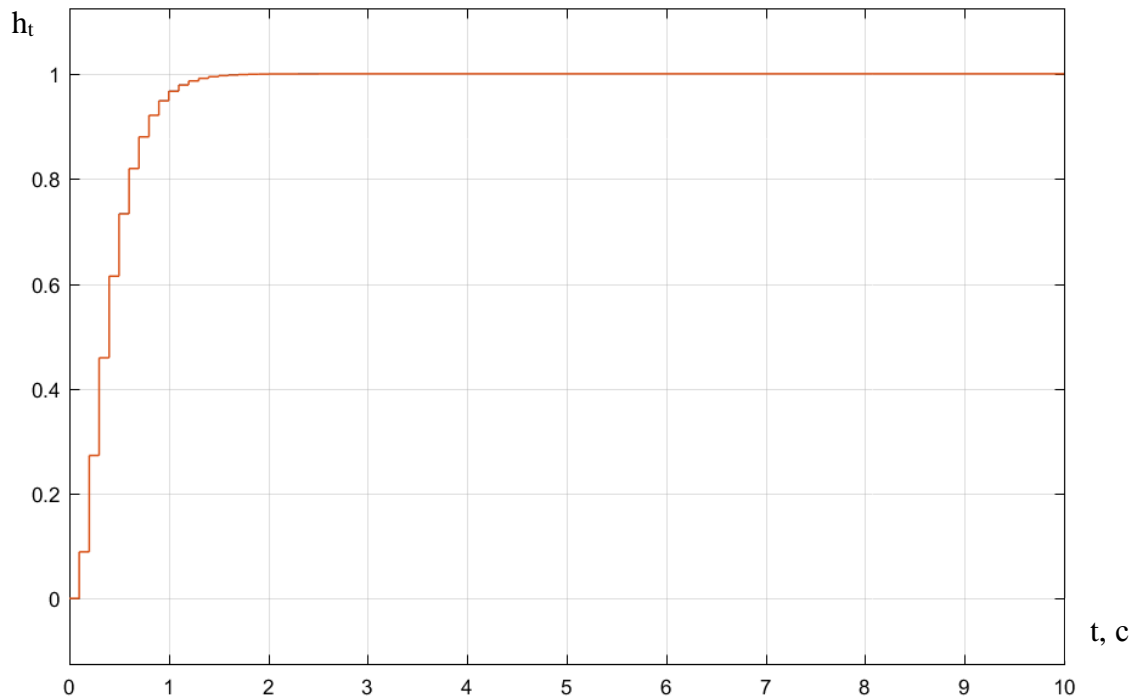


Рисунок 4.11 – Перехідний процес відрегульованої системи

Виконавши аналіз отриманого графіка перехідного процесу, можна зробити висновки, що отримані бажані показники якості цифрової системи, а саме нульова установлена похибка, нульове перерегулювання, та час регулювання $t_{\text{пп}} = 2$ с.

Для порівняння результатів синтезу та обрання кращого варіанту виконаємо синтез цифрового ПД-регулятора для керування швидкістю гібридного автомобіля.

4.4 Розрахунок коефіцієнтів ПД-регулятора

Як відомо ПД – регулятором називається пристрій, який застосовується в контурах управління. Дані регулятори використовують для формування сигналів управління в автоматичних системах, де необхідно досягти високих вимог до якості та точності перехідних процесів. Управляючий сигнал ПД-регулятора виходить в результаті складання трьох складових: перша пропорційна

величині сигналу неузгодженості, друга — інтегралу сигналу неузгодженості, третя — його похідній. Якщо будь-який з цих трьох компонентів не включений в процес складання, то регулятор буде вже не ПД, а просто пропорціональним, пропорційно– диференційованим або пропорційно–інтегруючим [16].

Розрахунок коефіцієнтів ПД-регулятора виконується за методом компенсації нулями ПД-регулятора полюсів передавального процесу. Передавальна функція приведеної безперервної частини:

$$W_{\text{ПБЧ}}(z) = \frac{0.08878 z + 0.07899}{z^2 - 1.646 z + 0.7047}, \text{ де } T = 0.1 \text{ с} - \text{період дискретизації.}$$

Інтегральна складова K_i визначається за формулою (4.10):

$$K_V = \frac{1}{T_0} \cdot \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1) W_{CK}(z) = K_i \cdot W_{\text{ПБЧ}}(z \rightarrow 1). \quad (4.10)$$

$$K_V = K_i \cdot \frac{0.1678}{0.0587} = K_i \cdot 2.85809199.$$

Коефіцієнт помилки за швидкістю K_V обирається довільно. Нехай $K_V = 1$, тоді K_i дорівнюватиме 0.3498837694. Розв'язок системи рівнянь для знаходження коефіцієнтів K_D та K_P має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{K_i T_0^2 - 2K_P T_0 - 4K_D}{K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0} = -1.646, \\ \frac{2K_D}{K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0} = 0.7047, \end{cases};$$

$$\begin{cases} K_i T_0^2 - 2K_P T_0 - 4K_D = -1.646(K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0), \\ 2K_D = 0.7047(K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0), \end{cases};$$

$$\begin{cases} 0.0034988377 - 0.2K_P - 4K_D = -0.0005759087 - 3.292K_D - 0.3292K_P; \\ 0.2953K_D = 0.0012328155 + 0.07047K_P \end{cases};$$

$$\begin{cases} 0.0040747464 - 0.708 * (0.00417479 + 0.2386386725K_p) = 0; \\ K_d = 0.00417479 + 0.2386386725K_p \end{cases};$$

$$\begin{cases} 0.0040747464 - 0.1292K_p - 0.0029557513 - 0.1689561801K_p = 0; \\ K_d = 0.00417479 + 0.2386386725K_p \end{cases};$$

$$\begin{cases} -0.0397561801K_p = -0.0011189951; \\ K_d = 0.00417479 + 0.2386386725K_p; \end{cases}$$

$$\begin{cases} K_p = 0.0281464441 \\ K_d = 0.0083 + 0.23864 * 0.0281464441 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} K_p = 0.0281464441 \\ K_d = 0.0108916201 \end{cases};$$

$$K_p = 0.0281464441;$$

$$K_d = 0.0108916201.$$

За наступними виразами отримуються значення ПД-регулятора:

$$\frac{T_0 K_i}{2} = \frac{0.1 \cdot 0.3498837694}{2} = 0.0174941885;$$

$$\frac{K_d}{T_0} = \frac{0.0108916201}{0.1} = 0.108916201.$$

Результати розрахованого ПД-регулятора показано на схемі у Simulink (Рисунок 4.12) і порівняно вірність розрахунків ПД-регулятора завдяки порівнянню якостей перехідної характеристики без регулятора та з ним (Рисунок 4.13).

$$h_{\text{max}} = 1.072, h_{\text{vct}} = 1, t_{\text{vct}} = 4 \text{ c}, t_{\text{III}} = 3,5 \text{ c}, \sigma = 7,2\%$$

Для того, щоб побачити, як зміняться показники якості перехідного процесу, було змінено коефіцієнт K_V . Нехай $K_V = 2$. Інтегральна складова K_i знаходиться за формулою (4.11):

$$K_V = K_i \cdot \frac{0.1678}{0.0587} = K_i \cdot 2.85809199;$$

$$K_i = \frac{K_V}{2.85809199} = \frac{2}{2.85809199} = 0.699767539.$$

Розв'язок системи рівнянь для знаходження коефіцієнтів K_D та K_P має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{K_i T_0^2 - 2K_P T_0 - 4K_D}{K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0} = -1.646, \\ \frac{2K_D}{K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0} = 0.7047, \end{cases};$$

$$\begin{cases} K_i T_0^2 - 2K_P T_0 - 4K_D = -1.646(K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0), \\ 2K_D = 0.7047(K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0), \end{cases};$$

$$\begin{cases} 0.69976767539 \cdot 0.01 - 0.2K_P - 4K_D = -0.011518173 - 3.292K_D - 0.3292K_P, \\ K_D = 0.35235 \cdot 0.69976767539 \cdot 0.01 + 0.07047K_P + 0.7047 \cdot 0.1 \end{cases};$$

$$\begin{cases} 0.00699767675 + 0.1292K_P - 0.708(0.008349576 + 0.238638672K_P) = -0.11518173, \\ K_D = 0.00246563 + 0.07047K_P + 0.7047K_D \end{cases};$$

$$\begin{cases} 0.1292K_P - 0.0059111499 - 0.168956179K_P = 0, \\ K_D = 0.008349576 + 0.238638672K_P \end{cases};$$

$$\begin{cases} -0.039756179K_P = -0.018515848 \\ K_D = 0.008349576 + 0.238638672K_P \end{cases};$$

$$\begin{cases} K_p = 0.465735099 \\ K_d = 0.008349576 + 0.238638672 * 0.465735099 \end{cases}$$

$$K_p = 0.465735099;$$

$$K_d = 0.119491981.$$

За наступними виразами отримуються значення ПД-регулятора:

$$\frac{T_0 K_i}{2} = \frac{0.1 \cdot 0.699767539}{2} = 0.034988376,$$

$$\frac{K_d}{T_0} = \frac{0.119491981}{0.1} = 0.011949198.$$

Результати розрахованого ПД-регулятора показано на схемі у Simulink (Рисунок 4.14) і прирівняно вірність розрахунків ПД-регулятора завдяки порівнянню якостей перехідної характеристики без регулятора та з ним (Рисунок 4.15).

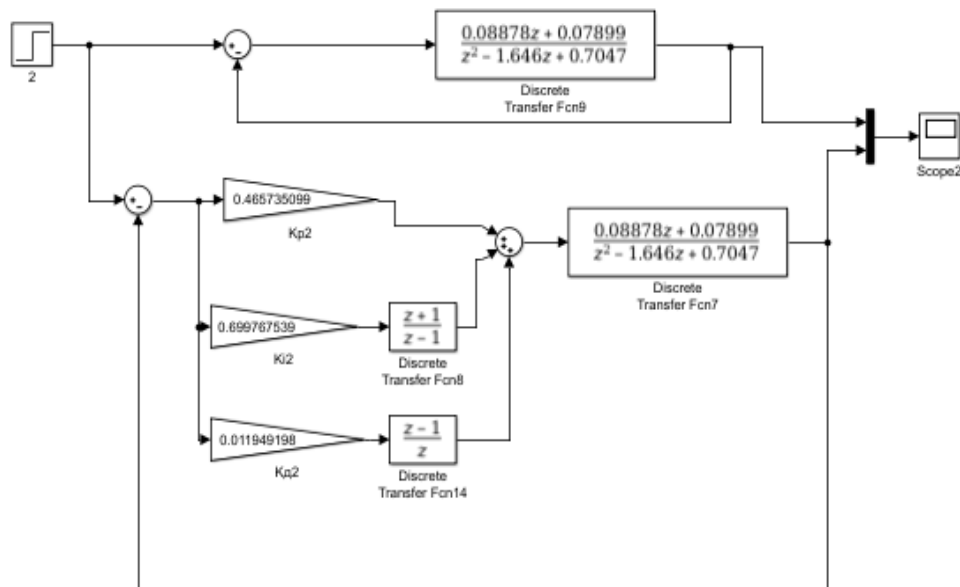


Рисунок 4.14 – Модель цифрової системи з ПД-регулятором та без нього при $K_V = 2$

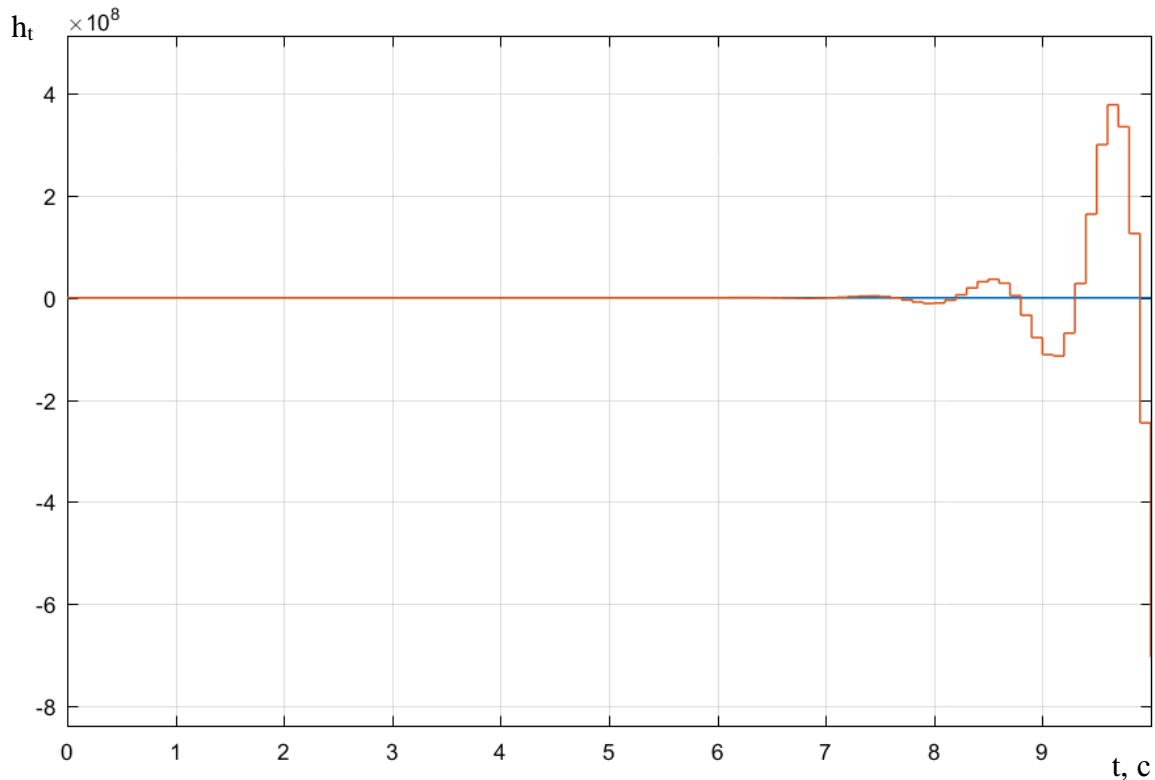


Рисунок 4.5 – Перехідні характеристики цифрової системи з ПД-регулятором і без нього при $K_V = 2$

Змінимо коефіцієнт K_V для того, щоб поглянути, як зміняться показники якості перехідного процесу. Нехай $K_V = 0.5$. Інтегральну складову K_i обчислюється за формулою (4.11):

$$K_V = K_i \cdot \frac{0.1678}{0.0587} = K_i \cdot 2.85809199.$$

Тоді K_i дорівнюватиме:

$$K_i = \frac{K_V}{2.85809199} = \frac{0.5}{2.85809199} = 0.174941884.$$

Розв'язок системи рівнянь для знаходження коефіцієнтів K_D та K_P має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{K_i T_0^2 - 2K_P T_0 - 4K_D}{K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0} = -1.646, \\ \frac{2K_D}{K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0} = 0.7047, \end{cases};$$

$$\begin{cases} K_i T_0^2 - 2K_P T_0 - 4K_D = -1.646(K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0), \\ 2K_D = 0.7047(K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0), \end{cases};$$

$$\begin{cases} 0.001749419 - 0.2K_P - 4K_D = -0.002879543 - 3.292K_D - 0.3292K_P, \\ K_D = 0.35235 * 0.001749419 + 0.7047K_D + 0.7047 * 0.1K_P \end{cases};$$

$$\begin{cases} 0.1292K_P - 0.708(0.002087392 + 0.238638672K_P) = -0.004628962, \\ K_D = 0.00246563 + 0.07047K_P + 0.7047K_D \end{cases};$$

$$\begin{cases} 0.1292K_P - 0.001477873 - 0.168956179K_P = -0.004628962, \\ K_D = 0.002087392 + 0.238638672K_P \end{cases};$$

$$\begin{cases} -0.039756179K_P = -0.003151089 \\ K_D = 0.002087392 + 0.238638672K_P \end{cases};$$

$$\begin{cases} K_P = 0.079260358 \\ K_D = 0.002087392 + 0.238638672 * 0.079260358 \end{cases};$$

$$K_P = 0.079260358,$$

$$K_D = 0.021001978.$$

За наступними виразами отримуються значення ПД-регулятора:

$$\frac{T_0 K_i}{2} = \frac{0.1 \cdot 0.174941884}{2} = 0.008747094,$$

$$\frac{K_D}{T_0} = \frac{0.021001978}{0.1} = 0.021001978.$$

На рисунку 4.16 показана схема цифрової системи з ПД регулятором, а на рисунок 4.17 показано графік перехідних характеристик системи з ПД регулятором та без нього.

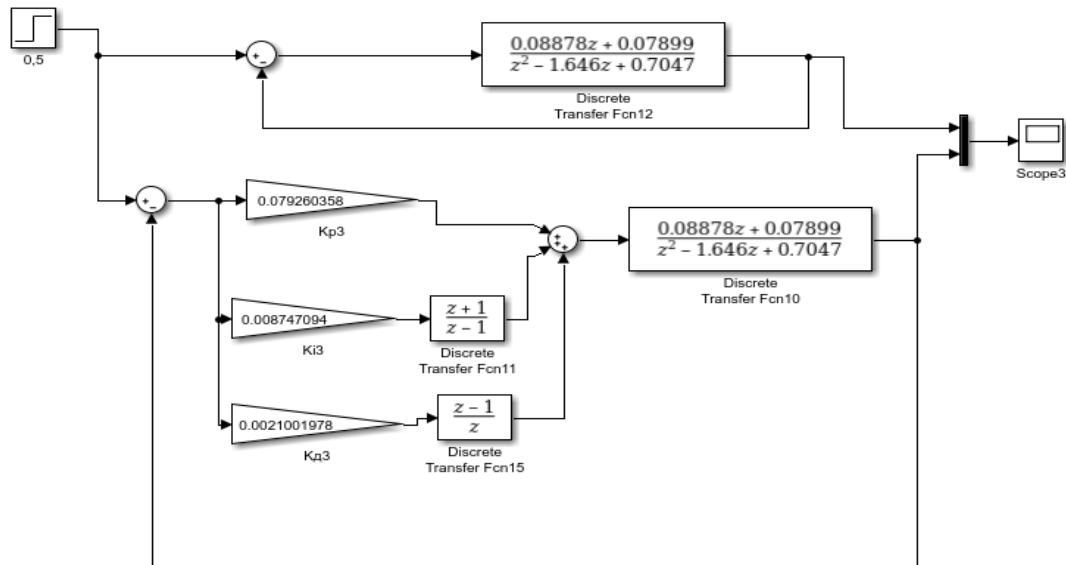


Рисунок 4.16 – Схема цифрової системи з ПД-регулятором та без нього при $K_V = 0.5$

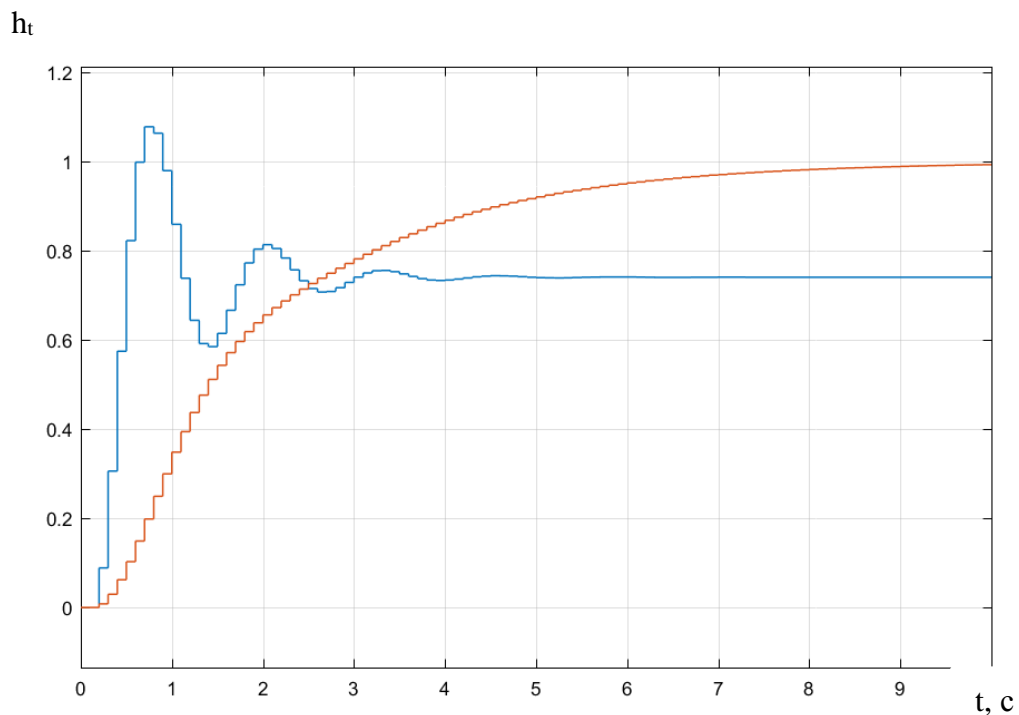


Рисунок 4.17 – Перехідні характеристики цифрової системи з ПД-регулятором і без нього при $K_V = 0,5$

Показники якості перехідного процесу без регулювання:

$$h_{\max} = 1.078, h_{\text{уст}} = 0.754, t_{\text{уст}} = 6 \text{ с}, t_{\text{пп}} = 4,5 \text{ с}, \sigma = 42,97\%.$$

Показники якості перехідного процесу з регулюванням:

$$h_{\max} = 0.998, h_{\text{уст}} = 0.998, t_{\text{уст}} = 9 \text{ с}, t_{\text{пп}} = 7.5 \text{ с}, \sigma = 0 \%$$

Отже можна зробити висновки при розрахунках коефіцієнтів ПД-регулятора, найкращі показники якості виявилися при коефіцієнті $K_V = 1$, тобто в першому випадку при $t_{\text{пп}} = 3,5$, але показники якості гірші ніж при синтезу системи на базі зворотніх зв'язків.

Таким чином для розроблення цифрової системи керування обрано цифровий регулятор на базі зворотних зв'язків за станом який забезпечує нульове перерегулювання, нульову помилку та час регулювання 2 секунди.

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІБРИДНИМ АВТОМОБІЛЕМ

5.1 Розробка структурної схеми

У Додатку 1 побачити розроблену структурну схему для гібридної системи автомобіля, що використовує два джерела енергії для руху – електричне та механічне.

До основних вузлів гібридної системи відносяться двигун внутрішнього згоряння, гібридна трансмісія в блоці з головною передачею, перетворювач-інвертор і високовольтна акумуляторна батарея.

Система включає дві акумуляторні батареї, які виконують різні функції. Одна представляє собою високовольтну акумуляторну батарею, яка акумулює енергію для приводу автомобіля, а інша - допоміжну акумуляторну батарею (з номінальним постійною напругою 12В), яка забезпечує живлення електрообладнання.

Крім того в гібридній системі використовується система регулювання напруги, що включає в себе високовольтну акумуляторну батарею, а також інвертор, який перетворює постійний струм в змінний.

Оскільки автомобілі з гібридним приводом не обладнуються звичайним генератором, висока напруга високовольтної акумуляторної батареї знижується приблизно до 14 В за допомогою підвищуючого перетворювача постійного струму, щоб забезпечити зарядку допоміжної акумуляторної батареї. Крім того, високовольтна акумуляторна батарея регулярно заряджається і розряджається в межах діапазону постійного заряду (SOC) під час руху автомобіля. Тому підзарядка від зовнішніх джерел не потрібно.

Відповідно, щоб підвищити ефективність експлуатації автомобілів за допомогою гібридних методів необхідно розробити структурну схему, в якій було б показано за допомогою яких механізмів та систем буде реалізовано

додаткове джерело енергії та як між собою взаємодіють комплектуючі гібридної системи.

5.2 Розробка функціональної схеми

Проаналізувавши структурну схему системи, у Додатку 2 розроблено функціональну схему. На схемі використовується CAN-шина для з'єднань з блоками гібридної системи автомобіля.

CAN (Controller Area Network) – це недорога, легка мережа, що забезпечує довговічну мережу, яка допомагає багатьом пристроям CAN взаємодіяти між собою. Перевагою цього є те, що електронні блоки управління (ЕБУ) можуть мати один інтерфейс CAN, а не аналогові та цифрові входи для кожного пристрою в системі. Це зменшує загальну вартість та вагу автомобілів. Кожен з пристроїв у мережі має чіп контролера CAN і тому є розумним. Усі пристрої в мережі бачать усі передані повідомлення. Кожен пристрій може вирішити, чи є повідомлення актуальним, чи його слід відфільтрувати. Ця структура дозволяє модифікувати мережі CAN з мінімальним впливом. Додаткові вузли, можуть бути додані без змін до мережі [17].

Кожне повідомлення має пріоритет, тому, якщо два вузли намагаються одночасно відправити повідомлення, передається те, що має вищий пріоритет, а те, що має нижчий пріоритет, відкладається. Такий алгоритм є безпечним і призводить до безперервної передачі повідомлення з найвищим пріоритетом.

Специфікація CAN включає циклічний код резервування для перевірки помилок на вміст кожного кадру. Кадри з помилками ігноруються усіма вузлами, і кадр помилки може передаватися, щоб сигналізувати про помилку в мережі. Глобальні та локальні помилки диференціюються контролером, і якщо виявляється занадто багато помилок, окремі вузли можуть припинити передачу помилок або повністю відключитися від мережі [17].

6 СТАРТАП ПРОЕКТ

6.1 Опис ідеї проекту

У таблиці 6.1 наведено зміст ідеї стартап проекту, подано ймовірні напрямки застосування та головні вигоди для користувача продукту.

Таблиця 6.1 – Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
	Технічний	Підвищення ефективності керування гібридним автомобілем
	Науковий	Узагальнення методів переходу до векторно-матричної моделі на основі перехідного процесу з комплексними кореннями

У таблиці 6.2 наведено аналіз слабких, сильних та нейтральних характеристик проекту в порівнянні з розробкою конкурентів на ринку, де W – слабка сторона; N – нейтральна сторона; S – сильна сторона.

Таблиця 6.2 – Визначення слабких, сильних та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Власний проект	TOYOTA	HONDA			
1	Час перехідного процесу	Низький	Низький	Середній			+

Продовження таблиці 6.2 – Визначення слабких, сильних та нейтральних характеристик ідеї проекту

2	Автоматизація	+	+	+		+	
3	Круїз-контроль	+	+	+		+	
4	Повністю електричний режим руху	+	-	-			+
5	Кількість розробників	5	20	35			+
6	Система зчитування знаків	-	+	+	+		

6.2 Опис ідеї проекту

Технологічна здійсненість ідеї проекту наведена у таблиці 6.3. У таблиці наведено ідею проекту, яку можна запровадити, технологію реалізації ідеї, виконано аналіз наявності технологій реалізації у світі та їх доступність.

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Гібридна система автомобіля	Реалізація цифрової системи з ПД-регулятором	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: реалізація цифрової системи з ПД-регулятором				

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

У таблиці 6.4 наведено потенційний ринок стартап-проекту. У загальному проект відповідає умовам та вимогам ринку.

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	10
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає швидкими темпами
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Можна визнати фінансові перепони, високий рівень якості продукції на ринку та наявність конкурентів.
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні на початкових етапах
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	80

У таблиці 6.5 наведено характеристичні дані потенційних клієнтів проекту, а саме потреби, що формує ринок, цільові сегменти ринку, різну поведінку потенційних клієнтів, вимоги споживачів до товару.

Таблиця 6.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Покращення стабільності гібридної системи автомобіля	Повністю всі люди, а особливо автолюбители	Невеликі відмінності	Ціна Доступність Швидкодія Стабільність

Проведемо аналіз ринку, а саме визначимо фактори, що сприяють впровадженню проекту та факторів, які цьому перешкоджають. У таблиці 6.6 показано фактори загроз, зміст цих факторів та можлива реакція компанії на ці фактори.

Таблиця 6.6 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Економічний, політичний	Падіння світової економіки чи економіки основної країни збуту продукту	Знаходження додаткових ринків збуту
2	Посилення конкуренції	Поява нових гравців на ринку, що можуть захопити частку ринку	Надання якіснішого продукту за невисоку ціну
3	Незацікавленість клієнтів	При невдалій маркетинговій стратегії клієнта може не зацікавити продукт	Внесення додаткових сервісних послуг та зниження цін

У таблиці 6.7 проаналізовано фактори можливостей, зміст цих можливостей та реакція компанії на ці можливості.

Таблиця 6.7 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростання попиту на даний вид послуг	Гібридні системи набувають популярності у всьому світі та поступово розвиваються й в Україні	Задоволення зростаючого попиту шляхом випуску та удосконалення системи
2	Потреба в технічному обслуговуванні	Технічна підтримка та обслуговування клієнтів	Створення цілодобової підтримки для клієнтів

У таблиці 6.8 проведено ступеневий аналіз конкуренції ринку, а саме аналіз особливостей конкурентного середовища, як проявляється дана характеристика та вплив на діяльність підприємства, тобто дії компанії для того, щоб залишатися конкурентоспроможною.

Таблиця 6.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Монополістична конкуренція	Компанії пропонують схожі послуги, проте з певними відмінностями	Розробка унікальної продукції, що дозволить захопити більшу частку ринку

Продовження таблиці 6.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Національний	Конкуренція здійснюється на національному рівні	Компанії необхідно прикласти великі зусилля для захоплення національного ринку
Товарно-видова	Конкуренція між іншими ТМ одного виду	Проведення конкурентної боротьби з іншими торговими марками.
Внутрішньогалузева	Стосується однієї галузі	Підвищення якості та зменшення ціни
Цінова	Для великої частки споживачів ціна є основною ознакою при виборі	Головною конкурентною перевагою є унікальність позиціонування та зменшення вартості продукту
Олігополія	Не дуже багато конкурентів	Покращення якості продукту, розширення функціональності

Більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю М. Портера наведено в таблиці 6.9.

Таблиця 6.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Тойота, Хонда, VAG	Гнучкі ціни, можуть собі дозволити великі інвестиції	Велика кількість постачальників, вплив постачальників на даному ринку досить високий	Факторами впливу споживачів на ринку є можливість обрати продукцію конкурентів	Надання переваги більш авторитетним компаніям
Висновки:	Висока конкурентна боротьба	Є можливості входу на ринок, наявні потенційні конкуренти	Клієнти диктують вимоги до якості, а саме: широка функціональність, наявність служби підтримки	Так	Обмеження існують лише у разі відмови від продукту

У таблиці 6.10 наведені переваги стартап-проекту над конкурентами.

Таблиця 6.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Раціональніший ціновий показник	Через універсальність системи, собівартість невисока
2	Надання сервісних послуг	Сервісна підтримка апаратної частини
3	Керування ресурсами	Мінімальне використання людських ресурсів
4	Підвищення ефективності керування	Більш ефективно керування за рахунок узагальнення методів

У таблиці 6.11 виконано зрівнювальне дослідження сильних та слабких сторін стартап проекту за факторами конкурентоспроможності.

Таблиця 6.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін онлайн програми

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з нашим товаром						
			3	2	1	0	1	2	3
1	Раціональніший ціновий показник	13						+	
2	Надання сервісних послуг	15						+	
3	Керування ресурсами	20						+	
4	Підвищення ефективності керування	17						+	

У таблиці 6.12 проведено SWOT- аналіз ринку, який визначає сильні та слабкі сторони, а також описує можливості і загрози.

Таблиця 6.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: сервісна підтримка апаратної частини, висока ефективність, унікальність.	Слабкі сторони: відсутність патентів та торгових марок.
Можливості: покращення зручності у користуванні, зменшення собівартості.	Загрози: незацікавленість клієнтів, зростання конкуренції на ринку.

В результаті SWOT-аналізу прораховано орієнтовний термін реалізації стартап-проекту на ринку та продемонстровано в таблиці 6.13

Таблиця 6.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап–проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Маркетингова компанія для пошуку нових клієнтів	Середня	2-3 роки
2	Пошук бізнес-партнерів з інших галузей для співпраці	Висока	1-1,5 роки

6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

У таблиці 6.14 проведено опис цільових груп потенційних споживачі, орієнтовний попит в межах цільової групи.

Таблиця 6.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Звичайні люди	Висока	Високий	Середній	Середня
Які цільові групи обрано: звичайні люди, які мають водійське посвідчення					

Таким чином, основними цільовими споживачами та користувачами стартап-проекту є звичайні люди, які мають автомобіль чи бажали б мати. Готовність сприйняти продукт у клієнтів досить велика, що свідчить про попит на ринку. Далі визначено стратегію охоплення ринку.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 6.15).

Таблиця 6.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Наділення відмінними властивостями системи	Налаштування злагодженого виробництва	Наявність вагомих відмінностей продукту, для завоювання прихильності клієнтів	Стратегія диференціації

Таким чином, було обрано стратегію диференціації, яка передбачає надання товару важливих з точки зору користувача властивостей, що роблять стартап-проект відмінним від інших проектів конкурентів. Інструментом реалізації стратегії диференціації є ринкове позиціонування.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 6.16).

Таблиця 6.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першо-прохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Забирати існуючих та шукати нових	Схожість характеристик апаратної частини	Стратегія спеціалізації

В залежності від обраної стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки у таблиці 6.17 розробимо стратегію позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 6.17 – Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Висока якість	Стратегія диференціації	Підвищена ефективність керування	Якість, надійність, бюджетність
2	Ціна	Стратегія лідерства	Невисока ціна на компоненти	

6.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

У таблиці 6.18 наведено ключові переваги маркетингової концепції потенційного товару та ключові переваги перед конкурентами.

Таблиця 6.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Підвищення користувацьких характеристик	Економія ресурсів та екологічність системи	Простота у користуванні. прагнення до високої якості товару

У таблиці 6.19 наведено аналіз моделі товару за трьома рівняннями.

Таблиця 6.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Отримання кращих характеристик при експлуатації гібридного автомобіля		
	Властивості/характеристики:	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1) Керованість,	1) М	1) Тх
	2) Якість	2) М	2) Тх
	3) Стійкість	3) М	3) Тх
	Якість: тестування у програмному пакеті MATLAB/Simulink		
	Марка: назва організації-розробника + назва товару		
III. Товар із підкріпленням	До продажу – якісний товар за невисокою ціною		
	Після продажу – сервісне обслуговування		

Далі визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при виборі ціни на потенційний товар (табл. 6.20)

Таблиця 6.20 – Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	–	40000\$	Високий	Н. 20000 у.о. – В. 30000 у.о.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 6.21).

Таблиця 6.21 – Оптимальна система збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функція збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Попереднє замовлення	Встановлення зв'язків зі споживачами та їх сервісна підтримка	Канал нульового рівня	Через сайт та онлайн майданчики з продажу товарів

У таблиці 6.22 наведено аналіз складової маркетингової програми та розроблено концепцію маркетингових комунікацій.

Таблиця 6.22 – Оптимальна система збуту

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користу- ються цільові клієнти	Ключові позиції обрані для позиціону- вання	Завдання рекламного повідом- лення	Концепція рекламного звернення
1	Цільова аудиторія клієнтів оцінює ціну, якість та комфортність у використанні	Інтернет	Доступність, комфортність у користуванні	Зацікавлен- ня аудиторії у купівлі продукту	На основі мотивів зручностей і додаткових переваг

6.6 Висновки

В результаті розробки маркетингового аналізу стартап-проекту було проаналізовано та отримано оптимальну систему збуту, основні фактори конкурентоспроможності. Також визначено межі встановлення ціни та базову концепцію маркетингових комунікацій. По отриманим даним з маркетингового аналізу даний стартап-проект зможе конкурувати з іншими продуктами за рахунок високої якості та невисокої ціни на продукт. Концепцією рекламного звернення обрано на основі мотивів зручностей і додаткових переваг для споживача.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації система керування гібридним автомобілем. В процесі розробки проведено аналіз архітектури гібридної системи, функціональний розбір основних компонентів гібридної системи, наведено основні переваги використання гібридного та проаналізовано режими руху гібридного автомобіля.

Розроблена структурна та функціональна схеми системи керування гібридним автомобілем.

Досліджено методи розроблення аналітичних моделей безперервних та цифрових систем керування. Виконано узагальнення існуючих методів створення моделей систем керування з комплексними коренями. Представлена практична рекомендація та приведені аналітичні рішення визначення моделей.

Досліджена адекватність отриманих моделей. Визначено переваги та недоліки існуючих методів. Окреслені складності аналітичних методів переходу до передавальних функцій цифрових систем керування.

Виконано синтез цифрової системи зі зворотнім зв'язком за станом та прораховано коефіцієнти ПД-регулятора з найкращими характеристиками перехідного процесу. В результаті синтез цифрової системи зі зворотнім зв'язком за станом показав найкращі показники якості системи керування гібридним авто, а саме: $h_{\max} = 1$, $h_{\text{уст}} = 1$, $t_{\text{уст}} = 2$ с, $t_{\text{пп}} = 2$ с, $\sigma = 0$ %.

Моделювання систем керування гібридним автомобілем виконувалось за допомогою прикладного пакету MATLAB/Simulink.

За результатами досліджень, які проведені у магістерській дисертації опубліковані матеріали: Булан І.Л., Репнікова Н.Б. Узагальнення методів розроблення моделей систем керування з комплексними коренями. Булан Ілля Леонідович. // Winter InfoCom Advanced Solutions. – 2020. – С.52–56

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Z. Ma, D. Callaway, and I. Hiskens, “Decentralized charging control of large populations of plug-in electric vehicles,” *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 67–78, Jan 2013.
2. Gwenaëlle Souffran. Dimensionnement de la chaîne de traction d’un véhicule électrique hybride basé sur une modélisation stochastique de ses profils de mission. Université de Nantes, 2012. French.
3. Z. Fu, G. Hou, and A. Gao, “Modeling and simulation for parallel hybrid electric vehicle powertrain,” in *Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)*, 2011 International Conference on, pp. 114–117, 2011.
4. Kwo Young, Caisheng Wang, Le Yi Wang, Kai Strunz. *Electric Vehicle Battery Technologies*. Chapter 2. English.
5. Saida Kermani. *Gestion énergétique des véhicules hybrides : de la simulation à la commande temps réel*. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2009. French.
6. M. Cipek, D. Pavkovi, and J. Petri, “A control-oriented simulation model of a powersplit hybrid electric vehicle,” *Applied Energy*, vol. 101, pp. 121 – 133, 2013.
7. PRINCIPLE OF ELECTRIC MOTOR [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.hisour.com/principle-of-electric-motor-40858/>
8. What is a Squirrel Cage Motor and How Does it Work? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.thomasnet.com/articles/machinery-tools-supplies/what-is-a-squirrel-cage-motor-and-how-does-it-work/>.
9. Yang, T., L. Yin, G. Ingesson, P. Tunestål, R. Johansson, and W. Long (2017). “Simultaneous control of soot emissions and pressure rise rate in gasoline PPC engine”. In: *Proc. IEEE Conf. Control Technology and Applications (CCTA 2017)*. Hawaii, USA, pp. 572–577.
10. Lino Guzzella, Antonio Sciarretta. (2005). *Vehicle Propulsion Systems Introduction to Modeling and Optimization*. Second edition. English.

11. Гибридные автомобили серии Plug-in [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.toyota-tech.eu/HYBRID/HVDM/RU/Prius%20Plugin_RU.pdf
12. Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Sabastion E. Gay, Ali Emadi. (2005). Modern Electric, Hybrid Electric & Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design. English.
13. Observation de l’impact des dendrites sur les performances des batteries lithuim. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mega-piles.com/news/batterie-lithium-observation-croissance-dendrites-761>
14. Diagram Ragona [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/figure/Ragone-plot-for-electrochemical-energy-storage-devices-and-traditional_fig1_331616812
15. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления/ Р. Бишоп, Дорф Р. – 2002. – 140 с
16. ПД-регулятор [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller.
17. ПД-регулятор [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller.
18. Controller Area Network (CAN) Overview [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ni.com/ru-ru/innovations/white-papers/06/controller-area-network--can--overview.html>
19. Репнікова Н. Б. Теорія автоматичного управління: класика і сучасність/ Н. Б. Репнікова, – Київ: НТУУ (КПІ), 2012. – 238 с.
20. Писаренко А.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Оптимальні та адаптивні системи-1. Методи теорії оптимального керування». Для студентів спеціальності 7,8.05020101 «Комп’ютеризовані системи управління та автоматика» всіх форм навчання/ А.В. Писаренко, Н.Б Репнікова, – Київ: “Політехніка” – 2013, 128с.